

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

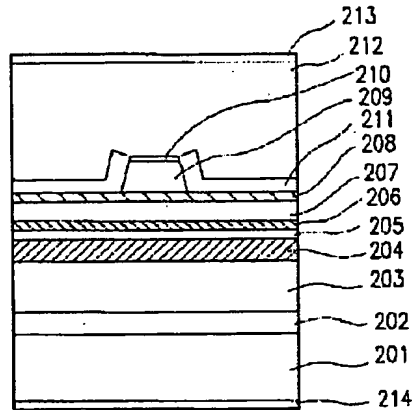
Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

Text: Patent/Publication No.: JP2000068610



JP2000068610 A

SEMICONDUCTOR LASER AND OPTICAL DISC DEVICE USING THAT  
MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

Inventor(s): ADACHI HIDETO ; KIDOGUCHI ISAO ; KAMIYAMA  
SATOSHI ; UENOYAMA TAKESHI ; MANNOU MASAYA ; FUKUHISA TOSHIYA

Application No. 11123225 JP11123225 JP, Filed 19960327, A1 Published

20000303 Published 20000303

**Abstract:** PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a highly reliable semiconductor laser having stable self-excited oscillation characteristics by a method wherein the degree of doping of a saturable absorption layer and a spacer layer, which constitute the laser, and the thicknesses of the saturable absorption and spacer layers are specially set properly.

**SOLUTION:** This semiconductor laser comprises a substrate 201 consisting of an N-type GaAs film, an active layer 204 and one pair of clad layers holding the layer 204 between them. The laser further comprises a spacer layer 205 adjacent to the layer 204 and a highly doped saturable absorption layer 206. The layer 206 is arranged at a position separated from the layer 204 so that the coefficient of optical confinement of the layer 206 is set at about 1% or higher. By doping highly the layer 206, the life of carriers in the layer 206 is shortened and the stable self-excited oscillation of the laser is obtained. As the result, a semiconductor laser having the relatively low strength of noise extending over a wide temperature range is obtained.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2000-68610  
(P2000-68610A)

(43) 公開日 平成12年3月3日 (2000.3.3)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テマコード\* (参考)

H 0 1 S 5/323

H 0 1 S 3/18

6 7 3

G 1 1 B 7/125

G 1 1 B 7/125

A

審査請求 有 請求項の数 9 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願平11-123225  
(62) 分割の表示 特願平8-529169の分割  
(22) 出願日 平成8年3月27日 (1996.3.27)  
  
(31) 優先権主張番号 特願平7-75451  
(32) 優先日 平成7年3月31日 (1995.3.31)  
(33) 優先権主張国 日本 (J P)  
(31) 優先権主張番号 特願平7-118154  
(32) 優先日 平成7年5月17日 (1995.5.17)  
(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005821  
松下電器産業株式会社  
大阪府門真市大字門真1006番地  
(72) 発明者 足立 秀人  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内  
(72) 発明者 木戸口 勲  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内  
(74) 代理人 100078282  
弁理士 山本 秀策

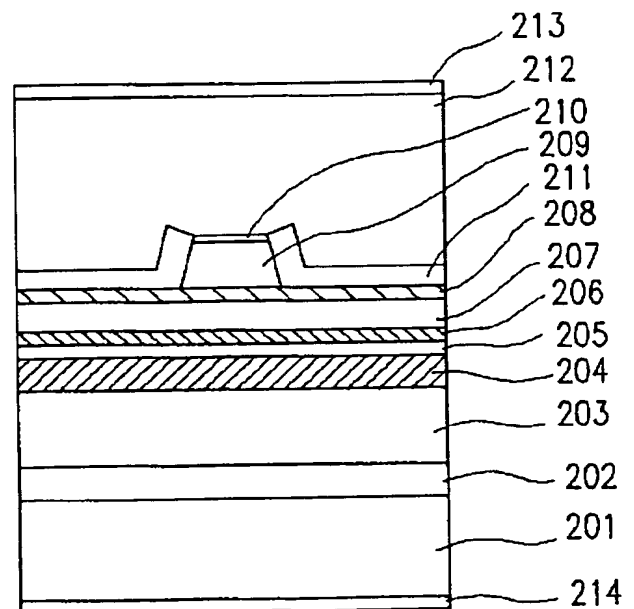
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体レーザ装置及びそれを用いた光ディスク装置

(57) 【要約】

【課題】 特に半導体レーザを構成する可飽和吸収層やスペーサ層のドーピングの程度や厚さを適切に設定することによって、安定な自励発振特性を有する高信頼性の半導体レーザを提供する。

【解決手段】 本発明の半導体レーザ装置は、n型GaAsからなる基板201と、活性層204と、活性層204を挟む一対のクラッド層と、を含む。装置は、更に、活性層204に隣接したスペーサ層205と、高ドープ可飽和吸収層206と、を含む。可飽和吸収層206に高ドープすることにより、キャリア寿命が短縮されて、安定した自励発振が得られる。その結果、広い温度範囲に渡って低い相対雑音強度を有する半導体レーザ装置が得られる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 活性層と、該活性層を挟むクラッド構造と、を備えた自励発振型半導体レーザ装置であって、該クラッド構造は可飽和吸収層を含んでおり、該可飽和吸収層は、その光閉じ込め係数が約1%以上になるように、該活性層から離れた位置に配置されている、自励発振型半導体レーザ装置。

【請求項2】 前記可飽和吸収層は、その光閉じ込め係数が約1.5%以上になるように、前記活性層から離れた位置に配置されている、請求項1に記載の自励発振型半導体レーザ装置。

【請求項3】 前記可飽和吸収層は量子井戸構造を有している、請求項1或いは2に記載の自励発振型半導体レーザ装置。

【請求項4】 前記活性層と前記可飽和吸収層との間には、該活性層のバンドギャップよりも大きいバンドギャップを持つスペーサ層が配置されている、請求項1から3の何れかに記載の自励発振型半導体レーザ装置。

【請求項5】 前記可飽和吸収層に隣接して光ガイド層が配置されている、請求項1から4の何れかに記載の自励発振型半導体レーザ装置。

【請求項6】 前記可飽和吸収層のキャリア寿命が6ナノ秒以下である、請求項5に記載の自励発振型半導体レーザ装置。

【請求項7】 半導体レーザ装置と、該半導体レーザ装置から放射されたレーザ光を記録媒体に集光する集光光学系と、該記録媒体から反射されたレーザ光を検出する光検出器と、を備えた光ディスク装置であって、該半導体レーザ装置は、活性層と、該活性層を挟むクラッド構造と、を備えた自励発振型半導体レーザ装置であって、該クラッド構造は可飽和吸収層を含んでおり、該可飽和吸収層は、その光閉じ込め係数が約1%以上になるように、該活性層から離れた位置に配置されている、自励発振型半導体レーザ装置である、光ディスク装置。

【請求項8】 前記可飽和吸収層は、その光閉じ込め係数が約1.5%以上になるように、前記活性層から離れた位置に配置されている、請求項7に記載の光ディスク装置。

【請求項9】 前記過飽和吸収層は量子井戸構造を有している、請求項7或いは8に記載の光ディスク装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ディスクシステムの光源などとして用いられる低雑音自励発振型半導体レーザ装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、光通信、レーザプリンタ、光ディスクなどの分野で、半導体レーザ装置（レーザダイオード）の需要が高まっている。この状況下で、GaAs系及びInP系半導体レーザ装置を特に中心として、種々

の半導体レーザ装置の研究開発が活発に進められてきた。光情報処理分野においては、780nm帯のAlGaAs系レーザダイオードを光源として用いて情報の記録・再生を行うシステムが実用化されている。そのようなシステムは、コンパクトディスクの記録・再生システムとして広く普及した。

【0003】しかし、最近、これらの光ディスクの記憶容量の増加が強く求められている。これに伴い、より短波長のレーザ光を放射できる半導体レーザ装置を得ることが強く求められてきている。

【0004】AlGaInP系半導体レーザ装置は、赤色領域の630～690nmの波長でのレーザ発振を実現できる。本願明細書において、 $(Al_xGa_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P$  ( $0 \leq x < 1$ ) が、単純に「AlGaInP」と省略されている。この半導体レーザ装置は、現在、実用レベルにある種々の半導体レーザ装置の中で最も短い波長のレーザ光を放射することができるので、従来から広く使用されていたAlGaAs系半導体レーザ装置に代わって、光情報記録用の次世代の大容量光源として、非常に有望である。

【0005】半導体レーザ装置の評価にとっては、レーザ光の波長に加えて、強度雑音や温度特性が重要な要素である。特に、半導体レーザ装置が光ディスクの再生用光源として使用される場合、強度雑音の少ないことが極めて重要である。これは、強度雑音が、光ディスクに記録されている信号が読取られる際にエラーを誘発するからである。半導体レーザ装置の強度雑音は、素子の温度変化によって引き起こされるだけではなく、光ディスクの表面から半導体レーザ素子に部分的に反射された光によっても生じる。従って、反射光が装置へ帰還されても強度雑音が少ない半導体レーザ装置が、光ディスクの再生用光源には不可欠となる。

【0006】従来、光ディスクの再生専用低出力光源としてAlGaAs系半導体レーザ装置を用いる場合、雑音を低減するために素子内のリッジストライプの両側に意図的に可飽和吸収体が形成される。このような構造の使用は、レーザ発振の縦モードをマルチ化する。レーザ発振が単一縦モードで実現しているときにレーザ光の装置への帰還や装置温度の変化等が生じると、利得ピークの微小な変化が、レーザ発振が既に実現している縦モードに近接する他の縦モードでのレーザ発振を開始させる。これが、新しい縦モードとオリジナルの縦モードとの間のモード競合を起こし、雑音を生じさせる。従って、マルチ縦モードの場合、各モードの強度変化が平均化され、レーザ光の装置への帰還や装置温度の変化などによって各モードの強度が変化しない。これによって、安定な低雑音特性を得ることができる。

【0007】特開昭63-202083号公報は、安定な自励発振特性を得ることのできる半導体レーザ装置を開示している。この公報では、活性層で生成された光を

吸収することのできる層を設けることによって、自励発振型半導体レーザを実現している。

【0008】また、特開平6-260716号公報は、活性層のバンドギャップと吸収層のバンドギャップとをほぼ等しくすることによって赤色半導体レーザ装置の特性を改善したと開示している。図1は、特開平6-260716号公報に開示されている従来の自励発振型半導体レーザ装置の模式断面図である。以下、図1を参照しながら、この半導体レーザ装置を説明する。

【0009】図1において、n型GaAsからなる基板1601の上に、n型GaInPからなるバッファ層1602、n型AlGaInPからなるクラッド層1603a、歪量子井戸可飽和吸収層1605a、n型AlGaInPからなるクラッド層1603b、GaInPからなる歪量子井戸活性層1604、n型AlGaInPからなるクラッド層1603c、及び歪量子井戸可飽和吸収層1605bが、順次形成されている。歪量子井戸可飽和吸収層1605bの上には、クラッド層1606とp型GaInPからなるコンタクト層1607とが、それぞれリッジ状に形成されている。クラッド層1606及びコンタクト層1607の両側は、n型GaAs層からなる電流ブロック層1608によって埋め込まれている。さらに、コンタクト層1607及びブロック層1608の上には、p型GaAsからなるキャップ層1609が形成されている。キャップ層1609の上にはp型電極1610が形成され、基板1601の裏面にはn電極1611が形成されている。

【0010】図2は、歪量子井戸可飽和吸収層1605a及び1605bのエネルギーバンドを示している。歪量子井戸可飽和吸収層1605a及び1605bでは、 $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ からなるバリア層1701と $\text{Ga}_{x}\text{In}_{1-x}\text{P}$ （膜厚：100Å、歪：+0.5～1.0%）からなる井戸層1702とが、交互に積層されている。本従来例では、3層の井戸層1702が積層されている。ここで、歪量子井戸活性層1604のバンドギャップと歪量子井戸可飽和吸収層1605a及び1605bのバンドギャップがほぼ等しくなっている。この従来例では、この構成の使用によって、満足な自励発振特性を得ようとしている。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】AlGaAs系半導体装置に比べて、AlGaInP系半導体装置は、自励発振を実現し難い。これは、両者間の利得特性の大きな相違に起因する。図3は、それぞれAlGaAs系半導体装置及びAlGaInP系半導体装置の活性層に主に用いられる材料であるGaInP及びGaAsについて、利得のキャリア密度依存性を示している。

【0012】自励発振を達成するためには、キャリア密度に対する利得の増加率（すなわち、利得曲線の傾き）が大きいことが要求される。ところが、GaInPの利

得曲線の傾きはGaAsの利得曲線の傾きよりも小さいため、GaInPでは、自励発振を達成することが比較的難しいことが判明した。

【0013】さらに、本願発明者らの実験結果より、以下のことが見出された。赤色半導体レーザ装置（AlGaInP系半導体レーザ）の場合、利得特性により、従来例のように活性層のバンドギャップと可飽和吸収層のバンドギャップとを単に等しくすることでは、安定した自励発振を得ることが困難である。

【0014】本発明は、上記の点を考慮して達成されたものであり、その目的は、特に半導体レーザを構成する可飽和吸収層やスペーサ層のドーピングの程度や厚さを適切に設定することによって、安定な自励発振特性を有する高信頼性の半導体レーザを提供することである。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明のある局面によれば、活性層と、該活性層を挟むクラッド構造と、を備えた自励発振型半導体レーザ装置が提供され、該クラッド構造は可飽和吸収層を含んでおり、該可飽和吸収層は、その光閉じ込め係数が約1%以上になるように、該活性層から離れた位置に配置されている。

【0016】前記可飽和吸収層は、その光閉じ込め係数が約1.5%以上になるように、前記活性層から離れた位置に配置されていてもよい。

【0017】前記可飽和吸収層は量子井戸構造を有していてもよい。

【0018】前記活性層と前記可飽和吸収層との間には、該活性層のバンドギャップよりも大きいバンドギャップを持つスペーサ層が配置されていてもよい。

【0019】前記可飽和吸収層に隣接して光ガイド層が配置されていてもよい。

【0020】好ましくは、前記可飽和吸収層のキャリア寿命が6ナノ秒以下である。

【0021】本発明の他の局面によれば、半導体レーザ装置と、該半導体レーザ装置から放射されたレーザ光を記録媒体に集光する集光光学系と、該記録媒体から反射されたレーザ光を検出する光検出器と、を備えた光ディスク装置が提供され、該半導体レーザ装置は、活性層と、該活性層を挟むクラッド構造と、を備えた自励発振型半導体レーザ装置であって、該クラッド構造は可飽和吸収層を含んでおり、該可飽和吸収層は、その光閉じ込め係数が約1%以上になるように、該活性層から離れた位置に配置されている。

【0022】前記可飽和吸収層は、その光閉じ込め係数が約1.5%以上になるように、前記活性層から離れた位置に配置されていてもよい。

【0023】前記可飽和吸収層は量子井戸構造を有していてもよい。

【0024】

【発明の実施の形態】本発明の半導体レーザ装置では、

可飽和吸収層のドーピングレベルを調節することによって、可飽和吸収層におけるキャリアの寿命時間が6ナノ秒以下に低減されている。その結果、キャリア密度の時間変化率に対する自然放出の寄与が増大し、それによって、自励発振を容易に生じることができ、相対雑音を下げることができる。

【0025】従来の半導体レーザ装置では、活性層近傍のドーピングレベルが $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、可飽和吸収層のキャリア寿命が長く、自励発振が困難であ

$$\frac{dS}{dt} = [\Gamma_1 g_1 + \Gamma_2 g_2(n_2, p) - g_a] S + \beta_{sp} \frac{n_1 V_1}{\tau_1(n_1)} + \beta_{sp^2} \frac{n_2 V_2}{\tau_2(n_2, p)} \quad (1)$$

【0028】

$$\frac{dn_1}{dt} = -\frac{\Gamma_1}{V_1} g_1(n_1) S - \frac{n_1}{\tau_1(n_1)} + \frac{I}{eV_1} \quad (2)$$

【0029】

$$\frac{dn_2}{dt} = -\frac{\Gamma_2}{V_2} g_2(n_2, p) S - \frac{n_2}{\tau_2(n_2, p)} \quad (3)$$

【0030】ここで、Sは総光子数、nは電子密度、 $\Gamma$ は光閉じ込め係数、pは正孔密度、 $\beta_{sp}$ は自然放出光係数、Vは体積、 $\tau$ はキャリア寿命時間、gは利得、及び、Iは注入電流密度を表している。また、添字1及び2は、それぞれ、活性層及び可飽和吸収層に対応している。

【0031】活性層に電流が注入される前は、各式

(1) から (3) の各項はゼロである。活性層に電流が注入され始めると、式の電流に関する項が大きくなり、 $dn_1/dt$ は正となる。これは、活性層における電子密度 $n_1$ が増加することを意味している。

【0032】電子密度 $n_1$ の増加は、自然放出による光子数の増加と利得による光子数の増加とを招く。そのため、 $dS/dt$ が増加して、総光子数Sの増加を招く。総光子数Sの増加は、式(2)の第1項の絶対値を大きくして、 $dn_1/dt$ は減少し、電子密度 $n_1$ は低下する。

【0033】式(3)の第1項における利得 $g_2$ は、最初、負の値を持っている。そのため、式(3)の右辺は正となり、可飽和吸収層における電子密度 $n_2$ は増加する。可飽和吸収層がある量の光を吸収すると、利得 $g_2$ は正になる。利得 $g_2$ が正になると、 $dn_2/dt$ が減少し始めて、負になる。

【0034】自励発振を実現するためには、総光子数Sと電子密度 $n_1$ 及び $n_2$ とを大きく振動させる必要がある。このような振動を引き起こすためには、光閉じ込め係数 $\Gamma$ が大きくされ得るか、或いは、各層の体積 $V_1$ 及び $V_2$ が小さくされ得る。しかし、本発明者らの実験によれば、光閉じ込め係数 $\Gamma$ が大きくされるか、或いは各層の体積 $V_1$ 及び $V_2$ が小さくされても、自励発振は達成されなかった。

【0035】本発明者らは、通常は定数として扱われる可飽和吸収層における電子の寿命時間 $\tau_2$ に着目した。本発明者らは、種々の解析や実験を通じて、可飽和吸収

る。本願発明者らの研究によると、この理由は以下のようである。キャリア寿命が大きい場合には、キャリア密度の時間変化率に対する自然放出光の寄与が小さくなり、キャリア密度が振動し難くなる。以下に、この点をさらに詳細に説明する。

【0026】可飽和吸収層を備えた半導体レーザ装置におけるレート方程式は、以下のように表現される。

【0027】

【数1】

【数2】

【数3】

層における電子の寿命時間 $\tau_2$ が適切な値(6ナノ秒以下)を持てば自励発振が達成されることを見いだした。また、本発明者らは、可飽和吸収層のドーピングレベルを適切な値(すなわち、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上)に設定することによって、可飽和吸収層における電子の寿命時間 $\tau_2$ を上記の適切な値に設定できることも見いだした。

【0036】図4は、p型不純物がドーピングされた可飽和吸収層のドーピングレベルに対するキャリアの寿命時間 $\tau_2$ の変化を示すグラフである。このグラフより、ドーピングレベルに依存してキャリアの寿命時間 $\tau_2$ が大きく変化することがわかる。このグラフ中の曲線の形状は、p型不純物の種類には依存しない。

【0037】前述したように、活性層の近傍における不純物ドーピングレベルは、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 未満になるように低い値に設定されている。この理由は、活性層への不純物拡散によるレーザ装置の信頼性の低下を防ぐためである。しかし、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 未満の不純物ドーピングレベルでは寿命時間 $\tau_2$ が長すぎるため、自励発振は達成され得ない。

【0038】前述のように、本発明者らの実験によれば、キャリアの寿命時間 $\tau_2$ は約6ナノ秒以下であることが望ましいことがわかった。図4のグラフにおいて、寿命時間 $\tau_2$ が6ナノ秒以下の領域に、斜線が施されている。図4から明らかなように、寿命時間 $\tau_2$ は、低ドーピングレベルで長くなる。 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 未満のドーピングレベルでは、寿命時間 $\tau_2$ は6ナノ秒を越える。これに対して、ドーピングレベルを $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上、例えば約 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ に高くすることによって、寿命時間 $\tau_2$ を約3ナノ秒にまで減少させることが可能となる。

【0039】前述の特開平6-260716号公報には、ドーピングに関する記述はない。特開平6-260

716号公報は、活性層の両側に設けられたクラッド層の中に、単に活性層と同等のバンドギャップを有する可飽和吸収層を導入するだけで、自励発振が生じると記載している。しかし、そのような可飽和吸収層のクラッド層への導入だけでは自励発振型レーザ装置の実現は困難であることを、本発明者らは見いだした。

【0040】先に述べたように、本発明者らの実験から、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の範囲内の通常のドーピングレベルでは、光出力の自励発振が生じ難いことがわかった。

【0041】通常のドーピングレベルで自励発振を生ずるためには、別のパラメータとして可飽和吸収層の体積 $V$ を十分に小さくし、且つキャリアの密度を相対的に増加させる方法が考えられる。しかし、可飽和吸収層の体積を小さくするには、層をより薄くする必要がある。可飽和吸収層の体積の減少にともなって、可飽和吸収層への光の閉じ込めが減少する。そのために、光の吸収効率が低下し、所望の自励発振特性を有する半導体レーザを得ることを困難にする。

【0042】このように、安定な自励発振を得るためには、可飽和吸収層のドーピングレベルを適切な値に設定することによって、可飽和吸収層におけるキャリアの寿命時間 $\tau_2$ を適切な値（6ナノ秒以下）にすることが、極めて有効である。

【0043】可飽和吸収層のドーピングレベルを高くする場合に留意すべき事項がある。

【0044】一般に、(100)面から[011]方向に主面を傾けた基板（オフ基板）を用いることによって、例えば、AlGaInPにおけるp型不純物のドーピングレベルが高められ得ることが知られている。しかし、活性層の近くに高ドーブ層が位置されると半導体レーザ装置の信頼性が低下することが、本願発明者らの実験でわかった。これは、p型ドーパントであるZnの拡散による。従って、信頼性に関する限りは、可飽和吸収層のドーピングレベルを高くすることは、必ずしも十分ではない。高ドーブ可飽和吸収層による弊害は、相対的に低いドーピングレベル、例えば約 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のスペーサ層を挿入することによって、解決される。これは、実施例によって更に詳細に説明する。

【0045】本発明の半導体レーザ装置では、可飽和吸収層が量子井戸として使用される場合に光閉じ込め係数の低下を補うために、可飽和吸収層に隣接する位置に、或いは可飽和吸収層の近傍に、光ガイド層を設け、それによって、可飽和吸収層による光吸収の効果を十分に生じさせる。その結果として、安定な自励発振特性を得ることが可能となる。

【0046】以下には、本発明の半導体レーザ装置が、図面を参照しながら実施例によって説明される。

【0047】（実施例1）図5は、本発明による第1の実施例の半導体レーザ装置の第1の実施例の断面構造を

示す。

【0048】半導体レーザ装置は、n型GaAs基板201と、GaAs基板201の上に形成された半導体積層構造とを備えている。半導体積層構造は、n型GaAsバッファ層202、n型AlGaInPクラッド層203、AlGaInP及びGaInPからなる多重量子井戸活性層204、p型AlGaInPスペーサ層205、p型GaInP高ドーブ可飽和吸収層206、第1のp型AlGaInPクラッド層207、p型GaInPエッチング停止層208、及び第2のp型AlGaInPクラッド層209を含んでいる。

【0049】第2のp型AlGaInPクラッド層209は、共振器長方向に延びるストライプ状の形状（幅：約2.0～7.0 $\mu\text{m}$ ）を有している。

【0050】第2のp型クラッド層209の上面には、コンタクト層210が形成されている。第2のp型クラッド層209及びコンタクト層210の両側には、n型GaAs電流ブロック層211が形成されている。コンタクト層210と電流ブロック層211の上には、p型GaAsキャップ層212が形成されている。キャップ層212の上面にはp型電極213が形成され、基板201の裏面にはn型電極214が形成されている。活性層204は、3層の井戸層と3層の障壁層とからなる多重量子井戸構造を有している。

【0051】本願明細書では、半導体積層構造からバッファ層、活性層、コンタクト層、キャップ層、及び電流ブロック層を除いた半導体積層構造の残りの部分を、「クラッド構造」と呼ぶ。本実施例では、n型AlGaInPクラッド層203、高ドーブ可飽和吸収層206、p型GaInPエッチング停止層208、第1のp型AlGaInPクラッド層207、及び第2のp型AlGaInPクラッド層209が、クラッド構造を構成している。

【0052】レーザ発振を実現するためにp型電極213とn型電極214との間に電圧を印加して、p型電極213からn型電極214へ電流（駆動電流）を流すと、電流は、コンタクト層210及び第2のp型クラッド層209を通して流れるように、電流ブロック層211によってブロックされる。このため、電流は、活性層204のうちで第2のp型クラッド層209の真下の領域（電流注入領域）を流れ、電流ブロック層211の真下の領域は流れない。光は、活性層204の電流注入領域内で発生し、電流注入領域の外側にある程度まで広がる。この光は、部分的に可飽和吸収層206と相互作用して、自励発振を実現する。

【0053】本発明の積層構造を構成する各半導体層のドーピングレベル及び厚さは、以下の通りである。

【0054】

【表1】

名 称	番号	ドーピングレベル	厚さ
キャップ層	・・・212	$5 \times 10^{18} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$	$3 \mu\text{m}$
コンタクト層	・・・210	$1 \times 10^{18} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$	$500 \text{ \AA}$
第2のp型クラッド層	・・・209	$1 \times 10^{18} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$	$0.9 \mu\text{m}$
エッチング停止層	・・・208	$5 \times 10^{17} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$	$100 \text{ \AA}$
第1のp型クラッド層	・・・207	$5 \times 10^{17} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$	$1350 \text{ \AA}$
高ドープ可飽和吸収層	・・・206	$2 \times 10^{18} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$	$150 \text{ \AA}$
スペーサ層	・・・205	$5 \times 10^{17} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$	$900 \text{ \AA}$
活性層	・・・204	アンドープ	$500 \text{ \AA}$
n型クラッド層	・・・203	$5 \times 10^{17} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$	$1.0 \mu\text{m}$
バッファ層	・・・202	$1 \times 10^{18} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$	$0.3 \mu\text{m}$

【0055】図6は、本実施例の活性層付近の $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  ( $0 \leq x < 1$ )のAl組成xのプロファイルを示す。本実施例では、n型クラッド層203、スペーサ層205、第1のp型クラッド層207、及び第2のp型クラッド層209のAl組成xは、0.7である。しかし、これらの層のAl組成xは、0.7に限定されるものではない。n型クラッド層203、スペーサ層205、第1のp型クラッド層207、及び第2のp型クラッド層209のAl組成xは、相互に異なり得る。また、各層の中で、Al組成xが段階的或いは連続的に変化し得る。

【0056】図6に示されるように、本実施例の可飽和吸収層206は、クラッド構造のp型部分において、活性層204から離れた位置に挿入されている。クラッド構造において、活性層204と可飽和吸収層206との間に位置する部分は、本願明細書ではスペーサ層205と呼ばれる。

【0057】本実施例のスペーサ層205の厚さは、 $900 \text{ \AA}$ である。スペーサ層205は、可飽和吸収層206に高濃度にドープされた不純物が活性層204に拡散して装置の信頼性を劣化させることを抑制する。スペーサ層205の好ましい厚さ及びその不純物濃度は、後に説明する。

【0058】本実施例の可飽和吸収層206の厚さは、 $150 \text{ \AA}$ である。 $150 \text{ \AA}$ 以上の厚さの可飽和吸収層は量子井戸構造を形成していないので、可飽和吸収層中に量子準位が形成されない。可飽和吸収層206が厚いと、言い換えると、可飽和吸収層206の体積を有すると、その中のキャリア密度が小さくなる。そのため、キャリアの寿命時間が短くならず、自励発振が生じにくくなる。この点を考慮すると、可飽和吸収層の厚さは、好ましくは約 $150 \text{ \AA}$ 未満である。可飽和吸収層206の厚さをより薄く、例えば $150 \text{ \AA}$ 以下にすることによって量子井戸構造が形成される例は、後により詳細に説明する。

【0059】可飽和吸収層206のAl組成xは、活性層204から放射された光を可飽和吸収層206が十分に吸収できるように、選択される。

【0060】一般に、 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ のバンドギャップは、Al組成xの増加とともに大きくなる。従って、図6は、本実施例の活性層付近のバンドギャップのプロファイルも、示している。図6からわかるように、スペーサ層205のバンドギャップは、活性層204及び可飽和吸収層206のバンドギャップよりも大きい。これが、活性層204からオーバフローした少数キャリアが可飽和吸収層206に入ることを妨げる。

【0061】スペーサ層205のバンドギャップは、第1のp型クラッド層207などのバンドギャップと等しく設定される必要はない。活性層204からのキャリアのオーバフローに対するバリア効果を高めるために、スペーサ層205のバンドギャップは、第1のp型クラッド層207等のバンドギャップより大きく設定され得る（スペーサ層205のAl組成は0.7より大きく設定され得る）。また、活性層204及び/或いは可飽和吸収層206の光閉じ込め係数を調整するために、スペーサ層205のバンドギャップは、クラッド構造の他の部分のバンドギャップよりも小さく設定され得る（スペーサ層205のAl組成は0.7より小さく設定され得る）。

【0062】本実施例では、可飽和吸収層206の光閉じ込め係数は約4.5%である。可飽和吸収層206の光閉じ込め率が3%であると、安定した自励発振特性が得られないことがわかった。

【0063】図7は、図2に示す半導体レーザ装置の電流-光出力特性を示す。閾値電流は、約 $50 \text{ mA}$ である。自励発振型半導体レーザ装置の特性においては、通常の半導体レーザ装置と異なって、閾値電流近傍で光出力の急激な立ち上がりが見られる。これは、可飽和吸収層の存在のために、キャリア注入量がある閾値を越えるまでは光が外部へ放出されないためである。キャリア注入量が閾値を越えると、レーザ発振が生じて、注入電流に比例して光出力が増加し始める。

【0064】図8は、図7のグラフにおける点P1に対応する電流が半導体レーザ装置を流れる場合における、光出力の時間依存性を示している。図5に示されている振動波形は、シミュレーションにより得られた。図8か



ら、光出力の振動（自励発振）現象が継続的に生じていることが分かる。

【0065】図9は、実際に作製された自励発振型半導体レーザ装置を動作させることによって得られた光出力の振動波形を示している。時間とともに光出力が大きく振動して自励発振が生じていることが確認された。

【0066】図7を参照すると、注入電流を、図7の点P1に相当する値に達した後に更に大きくすると、自励発振が停止し、通常のレーザ発振が生じる。自励発振が停止する時の光出力を、最大自励発振出力（ $P_{\max}$ ）と呼ぶことにする。

【0067】図10は、最大自励発振出力（ $P_{\max}$ ）の可飽和吸収層ドーピングレベルに対する依存性を示している。図10から明らかなように、可飽和吸収層のドーピングレベルが $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ より低い（例えば $0.8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）場合には、自励発振は生じない。これに対して、可飽和吸収層のドーピングレベルが $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であるとき、最大自励発振出力（ $P_{\max}$ ）は5.1 mWであり、可飽和吸収層のドーピングレベルが $1.5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であるとき、最大自励発振出力（ $P_{\max}$ ）は8.2 mWであり、可飽和吸収層のドーピングレベルが $2.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であるとき、最大自励発振出力（ $P_{\max}$ ）は14.3 mWである。このように、ドーピングレベルが $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上になると、最大自励発振出力（ $P_{\max}$ ）は急激に増大する。

【0068】次に、図6を参照しながら、スペーサ層の役割を説明する。

【0069】活性層204と可飽和吸収層206との間に設けられたスペーサ層205の検討結果を示す。スペーサ層205は薄いほど、可飽和吸収層206が活性層204に近づく。従って、可飽和吸収層206の光の閉じ込め係数が増加する。しかし、スペーサ層205が更に薄くされると、活性層204から可飽和吸収層206へ少数キャリア（電子）が注入される。

【0070】図11A及び図11Bは、半導体レーザ装置の印加電圧が1.9 Vの場合の、エネルギーバンド（実線）及び電子密度のプロファイル（点線）を示す。図11Aは、スペーサ層205の厚さが100 Åの場合を示し、図11Bは、スペーサ層205の厚さが500 Åの場合を示す。

【0071】可飽和吸収層206での電子密度は、スペーサ層205が500 Åの場合、クラッド構造の他の部分の電子密度に比べて僅かに増加している。しかし、スペーサ層205が100 Åの場合、可飽和吸収層206での電子密度は、活性層204の電子密度を超えている。これは、かなりの量の電子が可飽和吸収層206に注入されていることを意味している。

【0072】キャリアの注入によって極めて高い電子密度を有すると、可飽和吸収層は利得を持ち、もはやレーザ光を吸収しない。そのため、自励発振を生じさせるこ

とが不可能となる。実験により、スペーサ層205の厚さは、100 Åより厚くする必要があることがわかった。

【0073】図12は、スペーサ層の厚さと可飽和吸収層での電子密度との関係を示すグラフである。このグラフより、スペーサ層が厚くなると、可飽和吸収層における電子密度を低減できることがわかる。自励発振を生じるためには、電子密度を $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下に抑える必要がある。図12からわかるように、電子密度を $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下にするには、スペーサ層の厚さを200 Å以上にする必要がある。図13は、スペーサ層の厚さと自励発振現象の存在についての実験結果を示す。安定した自励発振を達成するためには、図12及び図13から、スペーサ層の厚さは約200 Å以上である必要があることがわかる。

【0074】図14A及び図14Bは、半導体レーザ装置の相対強度雑音（RIN）特性を示す。図14Aは、可飽和吸収層を有さない半導体レーザ装置の特性を示し、図14Bは、本発明の半導体レーザ装置の特性を示している。

【0075】本発明の半導体レーザ装置は、広い温度範囲に渡って安定した低雑音特性を示している。特に、-140 dBの値が得られているので、本発明の半導体レーザ装置は実用的に適していることがわかる。

【0076】次に、スペーサ層の不純物濃度について説明する。

【0077】スペーサ層や可飽和吸収層に様に不純物をドーピングすることによって可飽和吸収層におけるキャリア寿命時間を小さくすると、その不純物が活性層に拡散し、レーザ装置特性を劣化させ、装置の信頼性を悪くする。図15Aは、スペーサ層のドーピングレベルが $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の場合の信頼性試験の結果を示し、図15Bは、スペーサ層のドーピングレベルが $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の場合の信頼性試験の結果を示す。図15A及び図15Bからわかるように、スペーサ層が $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でドーパントでドーピングされると、ドーパントが活性層にまで拡散する。そして、時間とともにレーザの駆動電流が急激に変化し、装置が実用に耐えないものとなる。このように高いドーピングレベルの場合、レーザ装置の劣化が非常に顕著であることがわかった。

【0078】以上に説明したとおり、活性層近傍の領域に不純物が高濃度にドーピングされていると、レーザ装置の特性が劣化する。従って、安定した自励発振を達成できる高信頼性の半導体レーザ装置を得るためには、以下のことが必要である。本発明のように、可飽和吸収層は不純物で高濃度にドーピングされ、活性層に近接する部分は、従来通りに比較的低濃度に不純物でドーピングされる。

【0079】以下、可飽和吸収層とその近傍の不純物濃度のプロファイルとを、より詳細に説明する。

【0080】ここで、スペーサ層のドーピングレベルと

可飽和吸収層のドーピングレベルとの差異を $\Delta P$ とする。図16は、 $P_{\max}$ の $\Delta P$ 依存性を示している。この図から明らかなように、 $\Delta P$ は、好ましくは、 $0.3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上である。スペーサ層は、不純物で均一にドーブされている必要はなく、スペーサ層は、不純物が比較的に高濃度にドーブされた部分と低濃度にドーブされた部分とを含むように形成され得る。

【0081】図17～図20は、可飽和吸収層及びその近傍における不純物濃度プロファイルを示している。

【0082】図17を参照すると、スペーサ層205の一部と可飽和吸収層206とのドーピングレベルが $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であるのに、スペーサ層205のうちで活性層204に隣接する部分のドーピングレベルは、 $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ より低い。この例では、スペーサ層205において活性層204に隣接する部分のドーピングレベルと可飽和吸収層206のドーピングレベルとの差異が、 $0.3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上であるので、安定した自励発振が達成され得る。

【0083】図18を参照すると、スペーサ層205は、大部分が、可飽和吸収層206のドーピングレベルとほとんど同じドーピングレベルで不純物がドーブされているが、スペーサ層205のうちで活性層204の近傍の部分は、活性層204とほぼ同じドーピングレベルに不純物がドーブされている。この例では、スペーサ層205において活性層204に隣接する部分のドーピングレベルと可飽和吸収層206のドーピングレベルとの差異が、 $0.3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上であるので、安定した自励発振が達成され得る。

【0084】図19を参照すると、スペーサ層205は不純物で均一にドーブされている。この場合、スペーサ層205のドーピングレベルと可飽和吸収層206のドーピングレベルとの差異が $0.3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上であるので、安定した自励発振が達成され得る。

【0085】可飽和吸収層206が不純物で高濃度にドーブされている場合、図20に示されるように、その不純物の一部が、可飽和吸収層206に隣接する層に、可飽和吸収層から拡散しても良い。

【0086】本実施例では、図6に示されるように、可飽和吸収層206は第1のp型クラッド層207の中に設けられているが、n型クラッド層203の中に設けられてもよい。本実施例で説明したように、可飽和吸収層206が活性層204に極端に近く位置されたり、或いは活性層204と可飽和吸収層206との間のスペーサ層205のドーピングレベルを高くし過ぎると、装置は、実用的アプリケーションでの信頼性を失う。n型クラッド層203の中の適切な位置に可飽和吸収層206が設けられれば、可飽和吸収層206がp型クラッド層207に設けられる場合と同様に、可飽和吸収層206でのキャリアの寿命時間を短くできて、安定した自励発振を達成することができる。

【0087】（実施例2）本発明による半導体レーザ装置の第2の実施例を説明する。この半導体レーザ装置は、量子井戸構造を含む活性層を用いているので、第1の実施例よりも高い光出力を得ることができる。

【0088】図21に示されるように、半導体レーザは、n型GaAs基板1201と、GaAs基板1201の上に形成された半導体積層構造と、を備えている。半導体積層構造は、n型GaAsバッファ層1202、n型AlGaInPクラッド層1203、AlGaInP及びGaInPからなる多重量子井戸活性層1204、p型AlGaInPスペーサ層1205、p型GaInP高ドーブ量子井戸可飽和吸収層1206、光ガイド層1207、第1のp型AlGaInPクラッド層1208、p型GaInPエッチング停止層1209、及び第2のp型AlGaInPクラッド層1210を含んでいる。

【0089】第2のp型AlGaInPクラッド層1210は、共振器長方向に延びるストライプ形状（幅：約 $2.0 \sim 7.0 \mu\text{m}$ ）を有している。

【0090】第2のp型クラッド層1210の上面には、コンタクト層1211が形成されている。第2のp型クラッド層1210及びコンタクト層1211の両側には、n型GaAs電流ブロック層1212が形成されている。コンタクト層1211と電流ブロック層1212との上には、p型GaAsキャップ層1213が形成されている。キャップ層1213の上面にはp型電極1214が形成され、基板1201の裏面にはn型電極1215が形成されている。活性層1204は、3層の井戸層と3層の障壁層とからなる多重量子井戸構造を有している。

【0091】この半導体レーザ装置を構成する各半導体層の種類、厚さ、不純物濃度などは、第1の実施例のそれらと同様である。本実施例の半導体レーザ装置の特徴は、以下の通りである。

【0092】1) 可飽和吸収層として、量子井戸可飽和吸収層1206（厚さ： $30 \text{ \AA} \sim 150 \text{ \AA}$ ）が用いられている。

【0093】2) 活性層として、多重量子井戸活性層1204が用いられている。

【0094】3) 可飽和吸収層1206が、高濃度（ $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上）にドーブされている。

【0095】4) 可飽和吸収層1206に隣接して、 $(\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ からなる光ガイド層1207（厚さ： $300 \text{ \AA} \sim 1500 \text{ \AA}$ ）が設けられている。

【0096】以下に、図22を参照しながら、本実施例の半導体レーザ装置をより詳細に説明する。

【0097】図22から明らかなように、本実施例では、光ガイド層1207が可飽和吸収層1206の近傍に設けられている。光ガイド層1207は、可飽和吸収

層 1206 より小さく且つスペーサ層 1205 や第 1 の p 型クラッド層 1208 よりも大きな屈折率を有している。

【0098】可飽和吸収層 1206 を量子井戸構造を持つように薄くした場合、その光の閉じ込め係数が極端に減少する。また、高濃度にドーピングされている可飽和吸収層は、あまり活性層 1204 に近づけて設けられない。その結果、このままでは、自励発振は生じない。

【0099】本実施例では、クラッド構造の他の部分よりも屈折率の大きな  $(\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  からなる光ガイド層 1207 を可飽和吸収層 1206 の近傍に配置することによって、可飽和吸収層 1206 の光閉じ込め係数は増加される。光ガイド層 1207 が挿入されて可飽和吸収層 1206 の光閉じ込め係数が少なくとも約 1.5% 以上に設定されると、安定な自励発振を生じることが可能となる。

【0100】可飽和吸収層 1206 を量子井戸にした場合、可飽和吸収層 1206 の厚さが薄いために、光ガイド層 1207 なしでその光閉じ込め係数を自励発振を生じさせるために必要な大きさに設定することはできない。その光閉じ込め係数を増加させるために可飽和吸収層 1206 の層数を増加すると、可飽和吸収層 1206 の体積が増加して、そのキャリア密度が小さくなり、その結果、自励発振は生じなくなる。従って、可飽和吸収層 1206 の近傍に光ガイド層 1207 を設けることによって、自励発振が実現された。

【0101】光ガイド層 1207 のバンドギャップは、好ましくは、可飽和吸収層 1206 のバンドギャップよりも大きく、スペーサ層 1205 のバンドギャップよりも小さい。しかし、光ガイド層 1207 のバンドギャップが可飽和吸収層 1206 のバンドギャップに近すぎると、可飽和吸収層 1206 に光が閉じ込められ過ぎる。その結果、光吸収の飽和特性を示さなくなる。

【0102】多重量子井戸活性層 1204 は 3 つの量子井戸層を含み、各量子井戸層の厚さは 50 Å である。量子井戸可飽和吸収層 1206 の近傍の光ガイド層 1207 は、厚さ 1500 Å (組成  $x = 0.5$ ) の層から形成されている。光ガイド層 1207 の厚さは、200 Å 以上で有効となることが分かっている。

【0103】量子井戸可飽和吸収層 1206 は、少数キャリアが量子井戸可飽和吸収層 1206 に注入されない限りは、多重量子井戸活性層 1204 にさらに近づけて設けられ得る。量子井戸可飽和吸収層 1206 が活性層 1204 に近づき過ぎて位置されると、活性層 1204 からオーバフローした少数キャリアが可飽和吸収層 1206 に注入される。従って、可飽和吸収層 1206 は、少数キャリアが可飽和吸収層 1206 に注入されることができるだけ妨げられるように、活性層 1204 の近傍に設けられることが好ましい。活性層 1204 から可飽和吸収層 1206 への少数キャリア注入を抑制するため

に、スペーサ層 1205 のバンドギャップは、好ましくは、クラッド構造の他の部分のバンドギャップよりも大きくされる。実施例 1 で説明したスペーサ層 1205 の好ましい厚さや不純物濃度は、本実施例でも当てはまる。

【0104】本実施例の半導体レーザ装置の最高光出力 ( $P_{\text{max}}$ ) は、多重量子井戸活性層 1204 に量子井戸構造を導入することによって、バルク活性層を用いた半導体レーザ装置の最高光出力に比べて、約 20% 増加した。また、しきい値電流が低減して、半導体レーザ装置は、高温で動作が可能となる。

【0105】本実施例の半導体レーザ装置では、図 9 に示されるような自励発振現象が確認され、 $-130 \text{ dB/Hz}$  以下の相対雑音強度 ( $RIN$ ) も得られた。

【0106】以上に説明したように、本実施例の半導体レーザ装置の特性は、量子井戸活性層、低濃度スペーサ層、高ドーピング可飽和位吸収層、及び光ガイド層を含む新規な構造を採用することによって、実現され得る。

【0107】(実施例 3) 本発明の半導体レーザ装置の第 3 の実施例を、図 23 を参照して説明する。

【0108】n 型 GaAs 基板 1401 の上にバッファ層 1402、AlGaInP からなる n 型クラッド層 1403、活性層 1404、AlGaInP からなる第 1 の p 型クラッド層 1405、p 型 GaInP からなるエッチング停止層 1406 が、この順に形成されている。エッチング停止層 1406 の上部には、AlGaInP からなるリッジ状の第 2 の p 型クラッド層 1407 と p 型 GaInP からなるコンタクト層 1408 とが形成される。リッジ状の第 2 の p 型クラッド層 1407 及びコンタクト層 1408 の両側は、n 型 GaAs 層からなる電流ブロック層 1409 によって埋め込まれている。さらに、コンタクト層 1408 と電流ブロック層 1409 との上には、p 型 GaAs からなるキャップ層 1410 が形成されている。キャップ層 1410 の上及び基板 1401 の裏面には、p 型電極 1411 及び n 型電極 1412 がそれぞれ形成されている。

【0109】さらに、p 型不純物の亜鉛 (Zn) が、リッジストライプの外側 (すなわち、電流注入領域に隣接する領域) に拡散されている。それによって、活性層 1404 の電流注入領域の外側の領域に高ドーピング可飽和吸収領域 1413 が形成される。

【0110】本実施例の半導体レーザ装置は、活性層 1404 の一部が可飽和吸収領域として機能している点で、前述のものと異なる。活性層 1404 の電流注入領域で発生した光の一部は、電流注入領域の両側に位置する可飽和吸収領域 1413 に広がり、可飽和吸収領域 1413 に吸収されることによって自励発振現象が生じる。

【0111】可飽和吸収領域 1413 のキャリアの寿命時間が短いほど、自励発振は生じやすい。具体的には、

6 ナノ秒以下の寿命時間にする必要があり、可飽和吸収領域 1413 のキャリア濃度を  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  以上にすることが望ましい。

【0112】また、可飽和吸収領域 1413 に分布する光の量が全光量の 1% 以上であることが必要なことが、実験の結果からわかっている。

【0113】図 23 に示すような半導体レーザ装置では、自励発振現象が観測されて  $-130 \text{ dB/Hz}$  以下の RIN が得られた。

【0114】本実施例では、拡散された Zn によって、高濃度にドーピングされた可飽和吸収領域が形成される。しかし、イオン注入法のような他のドーピング方法を用いて、活性層 1404 のうちの可飽和吸収領域として機能する領域に不純物を高濃度にドーピングすることもできる。

【0115】(実施例 4) 図 24 を参照しながら、半導体レーザ装置の第 4 の実施例を説明する。図 24 は、n 型クラッド層 1804 から第 1 の p 型クラッド層 1806 までの各層のエネルギーバンドを示す。このエネルギーバンド図は、図 12 のエネルギーバンドと類似している。

【0116】本実施例では、活性層と可飽和吸収層との間の領域 (スペーサ層) は、3 つの部分 (1800、1805a 及び 1805b) から構成されている。第 1 スペーサ層 1805a は、厚さ  $60 \text{ \AA}$  の  $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  層から形成されている。多重量子障壁 (MQB) 層 1800 は、厚さ  $14 \text{ \AA}$  の  $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  量子井戸層と厚さ  $14 \text{ \AA}$  の  $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  量子障壁層とからなる。第 2 スペーサ層 1805b は、厚さ  $60 \text{ \AA}$  の  $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  層から形成されている。

【0117】多重量子障壁 (MQB) 層 1800 は、注入電子に対する仮想障壁を形成するために設けられている。第 1 スペーサ層 1805a、多重量子障壁 (MQB) 層 1800 及び第 2 スペーサ層 1805b の合計の厚さは、 $260 \text{ \AA}$  である。第 1 スペーサ層 1805a 及び第 2 スペーサ層 1805b は、電子が多重量子障壁 (MQB) 層 1800 をトンネル効果により流れることを防ぐために設けられている。

【0118】上記の構造によって、伝導帯における注入電子に対する障壁は  $100 \text{ meV}$  増加され、活性層 1802 から可飽和吸収層 1801 へ電子が流入することが抑制される。多重量子障壁層 1800 の存在のために、多重量子障壁層を持たない厚さ  $260 \text{ \AA}$  のスペーサ層と比べて、可飽和吸収層 1801 の光閉じ込め係数が 1% 増加する。

【0119】前述したように、可飽和吸収層 1801 と活性層 1802 との間に位置するスペーサ層が薄いほど、言い換えると、可飽和吸収層 1801 と活性層 1802 との間隔が狭いほど、可飽和吸収層 1801 内に分布する光の割合 (光閉じ込め率) は増加する。しかし、

この間隔が小さすぎると、活性層 1802 から注入された電子によって、可飽和吸収層 1801 の電子密度が増加し、自励発振が不可能となる。

【0120】上述のように、本実施例では、スペーサ層と可飽和吸収層との間に多重量子障壁 (MQB) 層が挿入されている。多重量子障壁は、活性層をオーバーフローする電子の波の干渉効果によって、活性層とスペーサ層との間に実効的な障壁高さを有する。従って、可飽和吸収層へ注入される電子が低減する。

【0121】多重量子障壁等の超格子を可飽和吸収層の近傍に配置することにより、可飽和吸収層の光閉じ込め率が増加するという利点がある。従って、本実施例の構成によれば、スペーサ層を薄くすることによって、可飽和吸収層の光閉じ込め率が増加し、多重量子障壁により電子が可飽和吸収層へ注入されることが抑制される。これにより、自励発振を容易に達成することが可能となる。

【0122】(実施例 5) 活性層の電流注入領域を含む電流経路の外側に可飽和吸収層が存在すると、可飽和吸収層に注入されたキャリアが、可飽和吸収層内を基板に平行な方向に拡散する。これにより、可飽和吸収層におけるキャリアの寿命時間が長くなり、自励発振が困難となる。従って、電流経路の外側に位置する可飽和吸収層の部分は、選択的に取り除くことが望ましい。

【0123】以下、可飽和吸収層の一部を選択的に除去する方法について、可飽和吸収層が  $\text{GaInP}$  混晶から形成され、クラッド層及びスペーサ層が  $\text{AlGaInP}$  混晶から形成されている場合を例にとり、説明する。

【0124】可飽和吸収層のうちで電流経路の外側に位置する部分を取り除く方法の一例として、 $\text{SiO}_2$  などからなるエッチングマスクを電流注入領域の上方に形成し、マスクされていない領域のクラッド層及びそのクラッド層の下に設けられた可飽和吸収層を、硫酸系溶液によるウェットエッチング或いは塩素系ガスによるドライエッチングにより除去する。しかし、可飽和吸収層と活性層との間隔は非常に小さく、すなわち数百オングストロームのオーダーである。そのため、可飽和吸収層のエッチング工程における過剰エッチングが生じたり、或いはエッチング工程後の水洗や大気中での搬送において活性層がダメージを受けたりして、装置特性を著しく悪化させる。このような弊害を避けるために、有機金属気相成長法や有機金属分子ビーム成長法などにおいて、アルシンのような可飽和吸収層を構成する混晶に対してエッチング作用を持つガスを用いて、反応室内の装置の可飽和吸収層がエッチングされ、その後にその反応室内で拡散ブロック層を成長させる。

【0125】本発明に適した可飽和吸収層 1906 のエッチング方法を、図 25A から図 25E を参照しながら説明する。

【0126】図 25A を参照すると、n 型  $\text{GaAs}$  基板

1901の上に、Siドープn型GaAsバッファ層1902、Siドープn型AlGaInPクラッド層1903、歪多重量子井戸活性層1904、Znドープp型AlGaInPスペーサ層1905、p型GaInP可飽和吸収層1906、及びZnドープp型AlGaInPクラッド層1907が、この順番で形成される。その後、この積層構造の電流注入領域の上に選択的に、SiO<sub>2</sub>マスクが形成される。

【0127】次に、図25Bに示されるように、p型AlGaInPクラッド層1907のうちでSiO<sub>2</sub>マスクで覆われていない部分が、硫酸液により選択的にエッチングされ、p型AlGaInPクラッド層1907がストライプ状にパターンニングされる。

【0128】積層構造が上に形成された基板1901は、有機金属気相成長装置の反応管内に入れられる。そして、この反応管に、アルシンが、圧力76 Torrの水素雰囲気中で1分間に1000 ccの量で導入され、基板1901は600℃まで加熱される。図25Cに示されるように、可飽和吸収層1906がエッチングされる。この条件下でのGaInP可飽和吸収層1906のエッチングレートは、1時間あたり5 μmである。従って、5 nmの可飽和吸収層1906を除去するためには、3.6秒間のエッチングが必要とされる。

【0129】次に、図25Dに示されるように、反応管内にアルシン、トリエチルガリウム(TMGa)、及びn型ドーパントとしてのシランガス(SiH<sub>4</sub>)が導入され、キャリア拡散ブロック層及び電流ブロック層として作用するn型GaAs層1908が選択的にエピタキシャル成長される。

【0130】この方法により、活性層にダメージを与えず、可飽和吸収層の一部が選択的に除去され、拡散ブロック層が形成される。

【0131】この後、図23Eに示されるように、p型GaAs層とp側電極とがこの順番で形成される。

【0132】以上のように、本実施例によれば、活性層へダメージを与えることなく、可飽和吸収層の一部が選択的に除去され、且つn型GaAsコンタクト層が電流ブロック層として使用され得る。従って、小アスペクト比且つ抑制された電流の拡がりを有する半導体レーザ装置が実現される。

【0133】(実施例6) 半導体レーザ装置の活性層近傍に高濃度にドーパされた可飽和吸収層が配置されると、半導体多層膜のエピタキシャル成長中に高濃度のドーパントは固相内拡散し、活性層まで達する。これは、拡散し得る欠陥を生じさせ、レーザ装置の信頼性に悪影響を及ぼす。前述のように本発明では、可飽和吸収層が高濃度に不純物でドーパされることが必要不可欠である。このため、可飽和吸収層からの不純物の拡散による製造歩留まりの低下や素子特性の劣化を検討した。

【0134】GaInP可飽和吸収層にp型ドーパント

であるZnとn型ドーパントであるSiとを同時に添加することによって、Znの拡散が抑制できて、所望のキャリア濃度プロファイルを乱すことなく半導体多層膜を再現性良く形成できることが見出された(特願平4-156522号参照)。

【0135】この効果を利用する目的で、可飽和吸収層がp型及びn型ドーパントで同時にドーパされている以下の構造の半導体レーザ装置が作製された。本発明の第6の実施例が、説明される。

【0136】図26を参照しながら、本発明による半導体レーザ装置の第6の実施例を説明する。

【0137】基板2001は、(100)面から[011]方向に9°傾斜した主面を持つn型GaAs基板である。この基板2001の上に、Siドープn型GaAsからなるバッファ層2002、Siドープn型AlGaInPからなるクラッド層2003、歪多重量子井戸活性層2004、Znドープp型AlGaInPからなるスペーサ層2005、Zn及びSiドープp型GaInPからなる歪量子井戸可飽和吸収層2006、Znドープp型AlGaInPからなる光ガイド層2007、Znドープp型AlGaInPからなる第1のp型クラッド層2008、及びZnドープp型GaInPからなるエッチング停止層2009が、この順に形成される。

【0138】エッチング停止層2009の上には、Znドープp型AlGaInPからなるリッジ状の第2のp型クラッド層2010とZnドープp型GaInPからなるコンタクト層2011とが形成される。リッジ状の第2のp型クラッド層2010及びコンタクト層2011の両側は、Siドープn型GaAsからなる電流ブロック層2012によって埋め込まれている。さらに、コンタクト層2011と電流ブロック層2012との上には、Znドープp型GaAsからなるキャップ層2013が形成されている。キャップ層2013及び基板2001の裏側には、p型電極2014及びn型電極2015がそれぞれ形成されている。

【0139】本実施例の半導体レーザの組成図は、図12に示したものと同一である。歪多重量子井戸活性層2004は、膜厚5 nmの3つの歪量子井戸を含む。歪量子井戸可飽和吸収層2006の光ガイド層2007は、組成xが0.5且つ厚さが150 nmである。

【0140】本実施例は、歪量子井戸可飽和吸収層2006にp型ドーパントとn型ドーパントとを同時に添加することにより、歪量子井戸可飽和吸収層2006のキャリア濃度が所望のレベルに設定されている点で、前述の実施例と異なる。この場合、歪量子井戸可飽和吸収層2006のキャリア濃度が $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ となるように、Zn及びSiの添加量が精密に調整されている。

【0141】本実施例の方法により作製された半導体レーザ装置は、2種類のドーパントが同時にドーパされて

いないもので得られるものと同様の自励発振現象が生じ、 $-130\text{ dB/Hz}$ 以下のRINが得られる。さらに、自励発振を実現する半導体レーザ装置の製造歩留まりは、5%から50%へ実質的に改善され、その推定寿命は5000時間から20000時間へ改善される。これより、実用上問題のない半導体レーザ装置が得られる。

【0142】本実施例では、可飽和吸収層へp型ドーパントとn型ドーパントとを同時に添加することにより、高濃度にドーブされたZnの拡散が抑制される。このため、キャリア濃度プロファイルが製造工程中及び装置の動作中に所望の値から大きく変化しない。従って、半導体レーザ装置の諸特性及び歩留まりが向上される。

【0143】本実施例では、ドーパントとしてZn及びSiが用いられている。しかし、使用されるべきドーパントは、これに限定されない。p型ドーパントとしてMgなどが使用され得て、n型ドーパントとしてSeなどが使用され得る。

【0144】(実施例7) 実施例6では、可飽和吸収層からのドーパントの拡散を防止するために適した構造が説明されている。本実施例では、さらに電流ブロック層からのドーパントの拡散を抑制できる構造を持つ半導体レーザ装置を説明する。

【0145】半導体レーザ装置の製造工程において半導体層が成長される場合、近傍に再成長界面が存在すると、界面に存在する欠陥を介して不純物の拡散が促進される。そのため、Znが、GaInP可飽和吸収層の形成後に設けられる電流狭窄層のような埋込構造形成時に、問題を生じさせられると思われる。そこで、GaAs電流ブロック層にn型ドーパントであるSiとp型ドーパントであるZnとを同時に添加することによって、GaInP可飽和吸収層中からのZnの拡散が抑制され、所望のキャリア濃度プロファイルを乱すことなく半導体多層膜を再現性良く形成できることが見出された。この効果を利用する目的で、可飽和吸収層がn型及びp型ドーパントで同時にドーブされている以下の構造の半導体レーザが作製された。

【0146】図27を参照しながら、本発明による半導体レーザ装置の第7の実施例を説明する。

【0147】基板2101は、(100)面から[011]方向に $9^\circ$ 傾斜した面を持つn型GaAs基板である。この基板2101の上に、Siドーブn型GaAsからなるバッファ層2102、Siドーブn型AlGaInPからなるクラッド層2103、歪多重量子井戸活性層2104、Znドーブp型AlGaInPからなるスペーサ層2105、Zn及びSiドーブp型GaInPからなる歪量子井戸可飽和吸収層2106、Znドーブp型AlGaInPからなる光ガイド層2107、Znドーブp型AlGaInPからなる第1のp型クラッド層2108、及びZnドーブp型GaInPからなる

エッチング停止層2109が、この順に形成される。

【0148】エッチング停止層2109の上には、Znドーブp型AlGaInPからなるリッジ状の第2のp型クラッド層2110とZnドーブp型GaInPからなるコンタクト層2111とが形成される。リッジ状の第2のp型クラッド層2110及びコンタクト層2111の両側は、Si及びZnドーブn型GaAsからなる電流ブロック層2112によって埋め込まれている。

【0149】さらに、コンタクト層2111と電流ブロック層2112との上には、Znドーブp型GaAsからなるキャップ層2113が形成されている。キャップ層2113の上及び基板2101の裏面には、p型電極2114及びn型電極2115がそれぞれ形成されている。

【0150】本実施例の半導体レーザ装置の構造図は、図12のものと同じである。歪多重量子井戸活性層2104は、厚さ5nmの3つの歪量子井戸を含む。歪量子井戸可飽和吸収層2106の光ガイド層2107は、組成xが0.5で厚さが150nmである。

【0151】本実施例は、電流ブロック層2112にn型ドーパントとp型ドーパントとを同時に添加により、そのキャリア濃度が所望のレベルに設定されている点で、前述の実施例と異なる。この場合、電流ブロック層2112のキャリア濃度が $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ となるように、Si及びZnの添加量が精密に制御される。

【0152】本実施例の方法により作製された半導体レーザ装置は、2種類のドーパントが同時にドーブされていないもので得られるものと同様の自励発振現象が生じ、 $-130\text{ dB/Hz}$ 以下のRINが得られる。さらに、自励発振を実現する半導体レーザ装置の製造歩留まりは、5%から60%へ実質的に改善され、その推定寿命は5000時間から40000時間へ改善される。これより、実用上問題のない半導体レーザ装置が得られる。

【0153】本実施例では、電流狭窄層へp型ドーパントとn型ドーパントとを同時に添加することにより、歪量子井戸可飽和吸収層に高濃度にドーブされたZnの拡散が抑制される。このため、キャリア濃度プロファイルが変化せず、半導体レーザ装置の諸特性及び歩留まりが効果的に向上される。

【0154】本実施例では、歪量子井戸可飽和吸収層と電流ブロック層とが、2種類の不純物によって同時にドーブされている。しかし、電流ブロック層のみが2種類の不純物によってドーブされる場合でも、同じ効果が期待される。

【0155】本実施例では、ドーパントとしてZn及びSiが用いられている。しかし、使用されるべきドーパントは、これに限定されない。p型ドーパントとしてMgなどが使用され得て、n型ドーパントとしてSeなどが使用され得る。

【0156】（実施例8）以下、本発明によるチップ検査工程を説明する。

【0157】一般に、1枚の半導体ウェハから複数の半導体レーザ装置が形成される。具体的には、半導体ウェハの上にp型電極及びn型電極が形成された後に、半導体ウェハ基板は、複数のバーを得るように劈開される。この後に、各バーの劈開面に反射膜がコートされる。

【0158】チップ検査工程で、所定の範囲外の特性を持つと判定された半導体レーザ装置は、不良品として排除される。例えば、バーの状態にある半導体レーザ装置は、室温でパルス駆動させたとき、閾値電流が100～200mAの範囲内ないと、不良品として排除される。

【0159】次に、チップ検査工程で排除されなかったバーからレーザチップを得る。これらのレーザチップは、組立工程を行う目的でキャン内にシールされる。

【0160】次に、エージング工程が行われる。本発明者らは、p型不純物のドーピングされた可飽和吸収層を持つ半導体レーザ装置の場合、レーザ発振の開始時のレーザ装置の特性が、1分以上経過後に変化することを発見した。また、レーザ発振の開始に続く数分の経過後に、特性は安定化する傾向にあることも発見した。より具体的には、レーザ発振の開始に続く約10分の経過した後は、特性は、ほぼ一定の状態を維持するようになる。例えば、所定の光出力を得る条件のもとで半導体レーザ装置が駆動される場合、レーザ発振の開始直後は約100mAの駆動電流でレーザ装置が動作しているにもかかわらず、1～10分の経過後には約70mAの駆動電流でレーザ装置が動作するようになることが時々ある。

【0161】特性の上記の変化は、レーザ発振の開始後の比較的に短い期間内に生じるが、その期間が経過した後は生じない。このため、このような特性変動は、「初期特性変動」と呼ぶことにする。

【0162】半導体レーザ装置を光源として含む装置やシステムを使用する場合、半導体レーザ装置の動作電流は変動しない方が好ましい。このため、本発明による半導体レーザ装置は、好ましくは、出荷する前に、閾値電流の様な特性を安定化する工程（エージング工程）を受ける。このエージング工程の間に、チップ状態の半導体レーザ装置は、1～120分間室温で連続レーザ発振されるか、或いは1～120分間、50℃でパルス発振される。これらの工程は、チップの組立前に行われる必要がある。

【0163】エージング工程を行う代わりに、ウェハを複数のバーに分離する前に、ウェハに対して300～800℃で約10～60分間アニールを行うことによって、レーザ装置の特性は安定化されることもわかった。組立前にウェハ状態でアニールを行うことによって、半導体レーザ装置の特性が安定化され得る。これで、組立前に不良品が排除され得て、不良品の組立のような無駄

がなくなる。また、半導体レーザ装置が個別に取り扱われる必要が無く、従って、複数の半導体レーザ装置が同時に処理され得る。特性安定化のためのアニールは、ウェハがレーザバーに分離された後に行い得る。

【0164】上記のエージング工程及びアニールは、可飽和吸収層にp型不純物（特にZn）が高濃度にドーピングされた場合に、好ましい効果をもたらす。

【0165】上記の何れの実施例においても、AlGaInP系半導体レーザ装置が説明されている。しかし、本発明はこれに限定されるものではない。例えば、本発明は、 $Al_xGa_{1-x}As$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) 系、 $Al_xGa_yIn_{1-x-y}N$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ) 系、または $Mg_xZn_{1-x}SySe_{1-y}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ) 系にも適用可能である。何れの場合でも、可飽和吸収層が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上の濃度で不純物がドーピングされる限り、安定した自励発振が達成され得る。

【0166】 $Al_xGa_{1-x}As$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) 系半導体レーザ装置の場合、例えば、活性層は $Al_{0.1}Ga_{0.9}As$ から形成され、可飽和吸収層はGaAsから形成され、クラッド層はAlGaAsから形成される。

【0167】 $Al_xGa_yIn_{1-x-y}N$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ) 系半導体レーザ装置の場合、例えば、活性層は $In_{0.05}Ga_{0.95}N$ から形成され、可飽和吸収層は $In_{0.2}Ga_{0.8}N$ から形成され、クラッド層は $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ から形成される。

【0168】 $Mg_xZn_{1-x}SySe_{1-y}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ) 系半導体レーザ装置の場合、例えば、活性層は $Cd_{0.2}Zn_{0.8}Se$ から形成され、可飽和吸収層は $Cd_{0.3}Zn_{0.7}Se$ から形成され、クラッド層は $Mg_{0.1}Zn_{0.9}S_{0.1}Se_{0.9}$ から形成される。

【0169】（実施例9）次に、図28を参照しながら、本発明による光ディスク装置を説明する。

【0170】光ディスク装置は、本発明の半導体レーザ装置801と、半導体レーザ装置801から放射されたレーザ光（波長：650nm）を平行光にするコリメータレンズ803と、その平行光を3本のレーザ光（この図では1本のレーザ光のみが示されている）に分離する回折格子804と、レーザ光の特定成分を透過／反射するハーフプリズム805と、ハーフプリズム805からのレーザ光を光ディスク807の上にフォーカスする集光レンズ806と、を含む。光ディスク807の上では、例えば、直径約1μmのレーザビームスポットが形成される。光ディスク807としては、読み出し専用ディスクとともに書き換え可能なものも使用され得る。

【0171】光ディスク807から反射されたレーザ光は、ハーフプリズム805で反射された後、受光レンズ808及びシリンドリカルレンズ809を透過し、受光素子810に入射する。受光素子810は、複数の分割されたフォトダイオードを有しており、光ディスク807から反射されたレーザ光に基づいて、情報再生信号、

トラッキング信号、及びフォーカスエラー信号を生成する。トラッキング信号及びフォーカスエラー信号に基づいて駆動系 811 が光学系を駆動することによって、光ディスク 807 の上のレーザ光スポットの位置を調整する。

【0172】光ディスク装置において、半導体レーザ装置 801 以外の構成要素は、公知のものが使用され得る。前述のように、本実施例の半導体レーザ装置 801 は、高濃度にドーパされた可飽和吸収層を有している。このため、光ディスク 807 から反射されたレーザ光の一部がハーフプリズム 805 と回折格子 804 とを透過して半導体レーザ装置 801 に戻ってきても、相対強度雑音は低いレベルに維持される。

【0173】図 22 に示す半導体レーザ装置では、光出力が約 10 mW のレベルまで自励発振が生じる。しかし、このレベルを越えて光出力を大きくすると、発振状態は徐々に、自励発振から単一モード発振に変化して行く。例えば、約 15 mW の光出力では、自励発振は生じない。光ディスクに記録された情報を再生するときには、半導体レーザ装置は、自励発振によって戻り光雑音を生じないべきである。しかし、光ディスク上に情報を記録するときには、自励発振が生じている必要はない。例えば、約 15 mW の光出力で情報が記録され、約 5 mW の出力で情報が再生されれば、情報の低雑音再生とともに低雑音記録が行われ得る。

【0174】上述のように、本発明の光ディスク装置では、高周波重畳用回路部品を用いることなく、630～680 nm の波長で低雑音再生が達成され得る。

【0175】これに対して、630～680 nm の波長で動作する従来の AlGaInP 系半導体レーザ装置は、安定な自励発振を生じさせられない。そのため、従来の AlGaInP 系半導体レーザ装置が光ディスク装置で用いられる場合、高周波を駆動電流に重畳することによって、戻り光雑音を抑制する必要がある。これは、大型の高周波重畳回路を必要として、光ディスク装置の小型化に不適當である。

【0176】（実施例 10）次に、本発明による光ディスク装置の他の実施例を説明する。

【0177】光ディスク装置は、本発明の前述の半導体レーザ装置を含むレーザユニットを使用する。レーザユニットは、フォトダイオードが形成されたシリコン基板と、その上にマウントされた半導体レーザ装置と、を含んでいる。更に、半導体レーザ装置から放射されたレーザ光を反射させるマイクロミラーが、シリコン基板に形成されている。

【0178】図 29 を参照しながら、このレーザユニットを説明する。図 29 に示されるように、シリコン基板（7 mm×3.5 mm）1 の主面 1a の中央に凹部 2 が形成されており、凹部 2 の底面に半導体レーザ装置 3 が配置されている。凹部 2 の一側面は傾斜しており、マイ

クロミラー 4 として機能する。シリコン基板 1 の主面 1a が（100）面である場合、（111）面は、異方性エッチングによって露出されてマイクロミラー 4 として利用される。（111）面は、（100）面から 54° 傾斜している。そのため、主面 1a が（100）面から <110> 方向に 9° だけ傾斜したオフ基板が用いられれば、主面 1a に対して 45° 傾斜した（111）面が得られる。（111）面に対向する位置に設けられた

（111）面は、主面 1a に対して 63° 傾斜する。この面にはマイクロミラー 4 が形成されず、後述する光出力モニター用フォトダイオード 5 が形成される。異方性エッチングによって形成した（111）面は平滑なミラー面であるので、優れたマイクロミラー 4 として機能する。しかし、マイクロミラー 4 の反射効率を高めるために、レーザ光を吸収し難い金属膜が、好ましくはシリコン基板 1 の傾斜面上に蒸着される。

【0179】シリコン基板 1 の上には、半導体レーザ装置 3 の光出力をモニターするためのフォトダイオード 5 に加えて、光信号検出用の 5 分割フォトダイオード 6a 及び 6b が形成されている。

【0180】図 30 を参照しながら、本実施例の光ディスク装置を説明する。前述した構造を持つレーザユニット 10 の半導体レーザ装置（図 30 には不図示）から放射されたレーザ光は、マイクロミラー（図 30 には不図示）から反射されて、ホログラム素子 11 の下面に形成されたグレーティングによって 3 本のビームに分離される（図中では、簡単化のため 1 本のビームのみ示されている）。その後、レーザ光は 1/4 波長板（1/4 λ 板）12 と対物レンズ 13 とを透過し、光ディスク 14 の上にフォーカスされる。光ディスク 14 から反射されたレーザ光は、対物レンズ 13 及び 1/4 λ 板 12 を透過した後、ホログラム素子 11 の上面に形成されたグレーティングによって回折される。この回折によって、図 31 に示されるように、-1 次光と +1 次光とが形成される。例えば、-1 次光は、図の左側に位置する受光領域 15a に照射され、+1 次光は、図の右側に位置する受光領域 15b に照射される。ホログラム素子 11 の上面に形成されたグレーティングのパターンは、-1 次光の焦点距離が +1 次光の焦点距離とは異なるように調整される。

【0181】図 32 に示されるように、レーザ光が光ディスク上にフォーカスすると、レーザユニット 10 の受光領域 15a に形成される反射レーザ光ビームのスポットの形状は、受光領域 15b に形成される反射レーザ光ビームのスポットの形状と等しくなる。レーザ光が光ディスク上でフォーカスしていないときには、レーザユニット 10 の受光領域 15a に形成される反射レーザ光ビームのスポットの形状は、受光領域 15b に形成される反射レーザ光ビームのスポットの形状とは異なる。

【0182】左右の受光領域の上に形成される光ビーム



スポットの大きさは、フォーカスエラー信号 (FES) として、以下のように検出される。

【0183】

$FES = (S1 + S3 + S5) - (S2 + S4 + S6)$   
 ここで、S1～S3は、受光領域15aを構成している5つのフォトダイオードの内の中央の3つのフォトダイオードから出力された信号の強度を意味し、S4～S6は、受光領域15bを構成している5つのフォトダイオードの内の中央の3つのフォトダイオードから出力された信号の強度を意味している。フォーカスエラー信号 (FES) がゼロのとき、レーザ光は光ディスクの上にフォーカスしている。図30に示されるアクチュエータ15によって、フォーカスエラー信号 (FES) がゼロになるように対物レンズ13が駆動される。

【0184】トラッキングエラー信号 (TES) は、以下のように求められる。

【0185】 $TES = (T1 - T2) + (T3 - T4)$   
 T1及びT2は、受光領域15aを構成している5つのフォトダイオードの内の両端の2つのフォトダイオードから出力された信号の強度を意味し、T3及びT4は、受光領域15bを構成している5つのフォトダイオードの内の両端の2つのフォトダイオードから出力された信号の強度を意味している。

【0186】情報信号 (RES) は、以下のように求められる。

【0187】

$RES = (S1 + S3 + S5) + (S2 + S4 + S6)$   
 本実施例では、半導体レーザ装置がフォトダイオードと一体化されているレーザユニットが使用されている。しかし、半導体レーザ装置は、フォトダイオードから分離され得る。

【0188】上記のように、半導体レーザ装置がフォトダイオードと一体化されたレーザユニットを用いることによって、光ディスク装置が小型化される。また、フォトダイオード及びマイクロミラーがシリコン基板に予め形成されているので、光学的なアライメントは、単にシリコン基板に半導体レーザ装置を位置合わせするだけで達成される。このように、光学的なアライメントが容易であるので、組立精度が向上して、且つ製造工程が簡単になる。

【0189】

【発明の効果】以上のように、本発明によれば、可飽和吸収層のドーピングレベルを増加することにより、キャリアの寿命時間が制御されて、安定した自励発振特性が実現された半導体レーザ装置が得られる。

【0190】また、本発明の半導体レーザ装置は、活性層に量子井戸を適用し、且つ光ガイド層を備えた量子井戸可飽和吸収層を用いることによって、より高出力の自励発振特性を実現できる。

【0191】また、本発明の半導体レーザ装置は、高ド

ープされた可飽和吸収領域を活性層の電流注入領域に隣接して設けることにより、容易に自励発振を生じさせる。

【0192】また、本発明によれば、スペーサ層内に多重量子障壁層を設けることにより、可飽和吸収層への電子流入を抑制し、可飽和吸収層の光閉じ込め係数を増加して、これにより、自励発振を容易に実現する。

【0193】また、本発明によれば、可飽和吸収層や電流狭窄層にn型ドーパントとp型ドーパントとを同時にドーピングすることにより、ドーパントの拡散が抑制され、キャリア濃度プロファイルが変化しない。従って、本発明は、半導体レーザ装置の諸特性及び歩留まりの向上の点で、非常に有効である。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来例における半導体レーザ装置の断面図である。

【図2】従来例における可飽和吸収層のA1組成を示す図である。

【図3】GaAsとGaInPとについて、利得のキャリア密度依存性 (利得特性) を示す図である。

【図4】可飽和吸収層におけるキャリア寿命時間のドーピングレベル依存性を示すグラフである。

【図5】本発明の第1の実施例におけるAlGaInP系半導体レーザの断面図である。

【図6】本発明の第1の実施例における活性層近傍のA1組成を示す図である。

【図7】本発明の第1の実施例における電流-光出力特性を示すグラフである。

【図8】本発明の第1の実施例における光出力及びキャリア密度の時間変化を示すグラフである。

【図9】本発明の第1の実施例における光出力とキャリア密度との実測時間を示す波形図である。

【図10】最大自励発振出力 ( $P_{max}$ ) の可飽和吸収層ドーピングレベルに対する依存性を示すグラフである。

【図11A】本発明の第1の実施例におけるエネルギーバンド及び電子密度分布を示す図である。

【図11B】本発明の第1の実施例におけるエネルギーバンド及び電子密度分布を示す図である。

【図12】本発明の第1の実施例におけるスペーサ層の厚さに対する可飽和吸収層の電子密度を示すグラフである。

【図13】本発明の第1の実施例におけるスペーサ層の厚さに対する光出力の自励発振の存在を示す図である。

【図14A】本発明の第1の実施例と従来例との間の雑音特性の比較を示す図である。

【図14B】本発明の第1の実施例と従来例との間の雑音特性の比較を示す図である。

【図15A】本発明の第1の実施例において、スペーサ層が  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  でドーピングされている場合の信頼性試験の結果を示す。

【図 15 B】本発明の第 1 の実施例において、スペーサ層が  $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  でドーピングされている場合の信頼性試験の結果を示す。

【図 16】スペーサ層のドーピングレベルと可飽和吸収層のドーピングレベルとの差異 ( $\Delta P$ ) に対する最大自励発振出力 ( $P_{\text{max}}$ ) の依存性を示すグラフである。

【図 17】可飽和吸収層及びその近傍における不純物濃度プロファイルを示すグラフである。

【図 18】可飽和吸収層及びその近傍における不純物濃度プロファイルを示すグラフである。

【図 19】可飽和吸収層及びその近傍における不純物濃度プロファイルを示すグラフである。

【図 20】可飽和吸収層及びその近傍における不純物濃度プロファイルを示すグラフである。

【図 21】本発明の第 2 の実施例における AlGaInP 系半導体レーザ装置の第 2 の実施例の断面図である。

【図 22】本発明の第 2 の実施例における活性層近傍の Al 組成を示す図である。

【図 23】本発明の第 3 の実施例における AlGaInP 系半導体レーザ装置の断面図である。

【図 24】本発明の第 4 の実施例における活性層近傍の組成構造を示す図である。

【図 25 A】本発明の第 5 の実施例における半導体レーザ装置の製造工程を示す断面図である。

【図 25 B】本発明の第 5 の実施例における半導体レーザ装置の製造工程を示す断面図である。

【図 25 C】本発明の第 5 の実施例における半導体レーザ装置の製造工程を示す断面図である。

【図 25 D】本発明の第 5 の実施例における半導体レーザ装置の製造工程を示す断面図である。

【図 25 E】本発明の第 5 の実施例における半導体レー

ザ装置の製造工程を示す断面図である。

【図 26】本発明の第 6 の実施例における AlGaInP 系半導体レーザ装置の断面図である。

【図 27】本発明の第 7 の実施例における AlGaInP 系半導体レーザ装置の断面図である。

【図 28】本発明による光ディスク装置の実施例の構成を示す模式図である。

【図 29】本発明による光ディスク装置に使用されるレーザユニットの斜視図である。

【図 30】本発明による光ディスク装置に他の実施例の構成を示す模式図である。

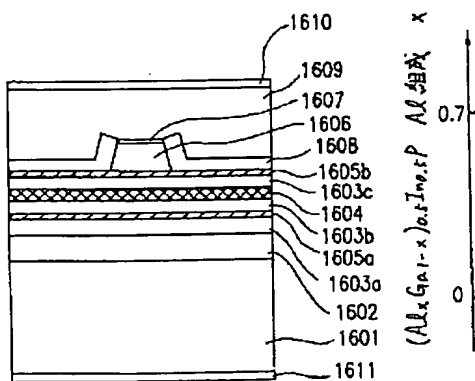
【図 31】本発明による光ディスク装置の実施例に用いられるホログラム素子の働きを示す図である。

【図 32】本発明による光ディスク装置の実施例に用いられる光検出器の平面図である。

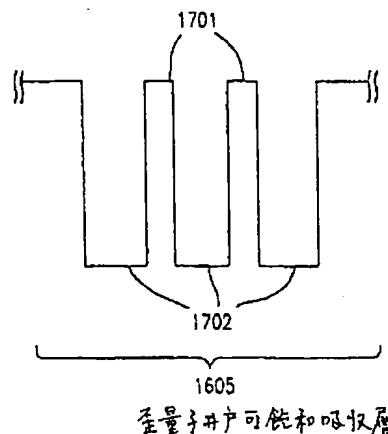
#### 【符号の説明】

- 201 n型GaAs基板201
- 202 n型GaAsバッファ層
- 203 n型AlGaInPクラッド層
- 204 多重量子井戸活性層
- 205 p型AlGaInPスペーサ層205
- 206 p型GaInP高ドーピング可飽和吸収層
- 207 第1のp型AlGaInPクラッド層
- 208 p型GaInPエッチング停止層
- 209 第2のp型AlGaInPクラッド層
- 210 コンタクト層210
- 211 n型GaAs電流ブロック層211
- 212 p型GaAsキャップ層
- 213 p型電極
- 214 n型電極

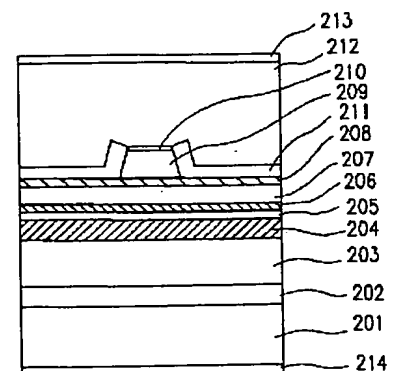
【図 1】



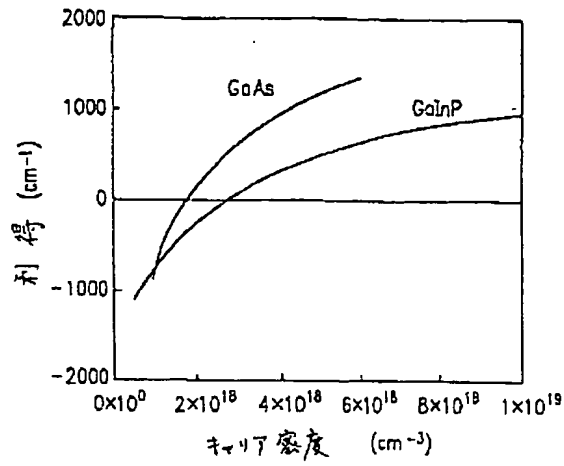
【図 2】



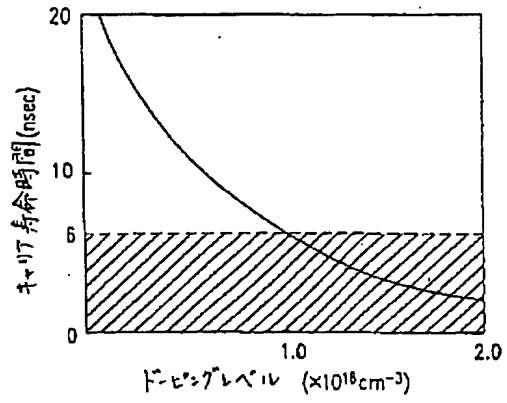
【図 5】



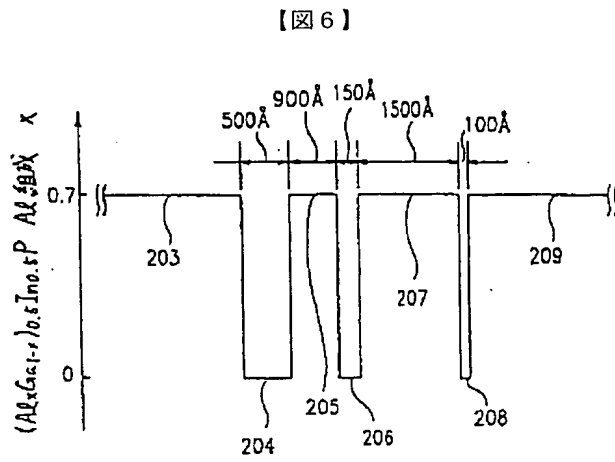
【図3】



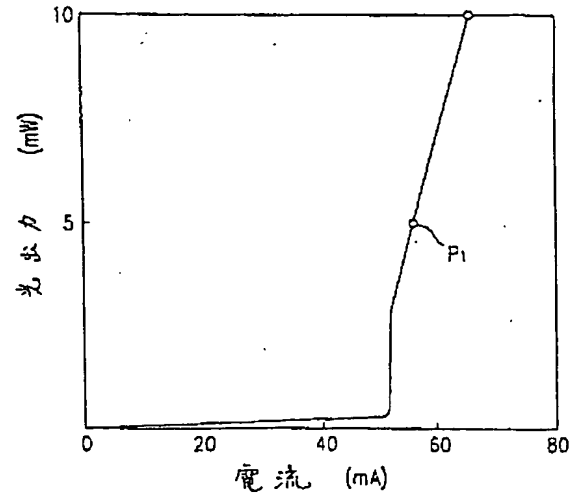
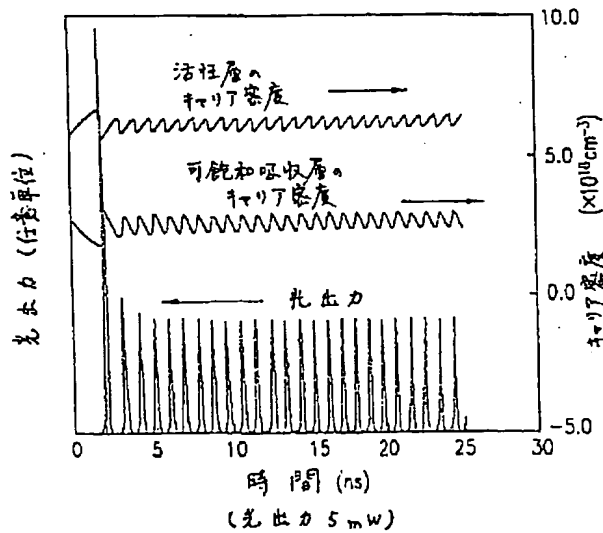
【図4】



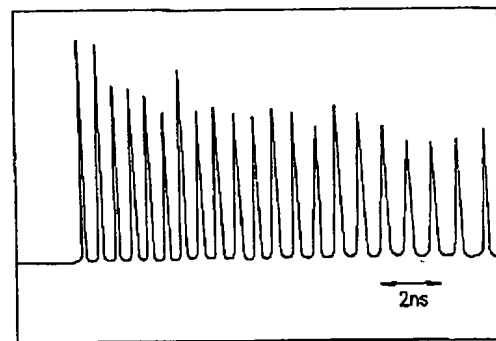
【図7】



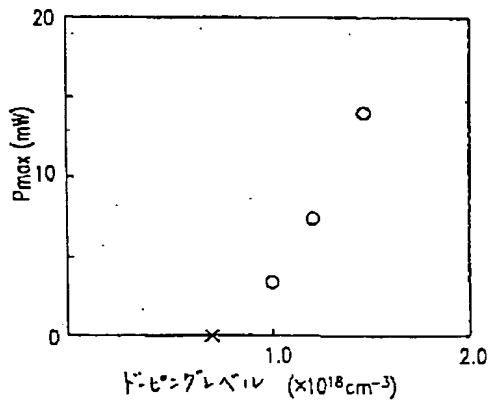
【図8】



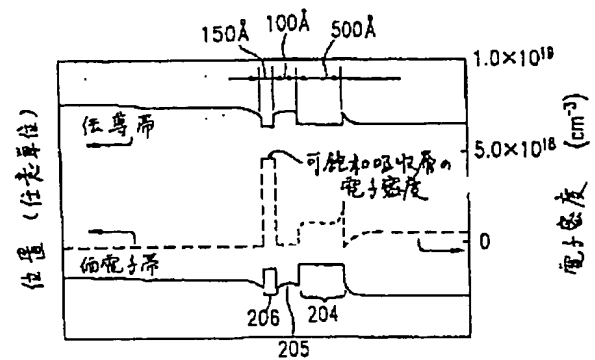
【図9】



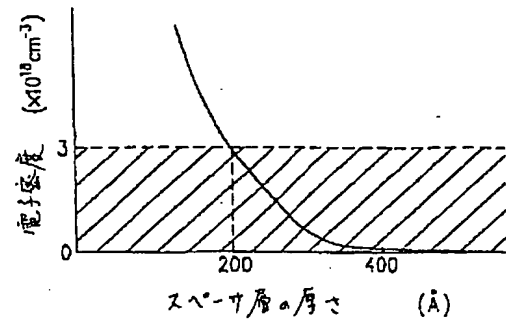
【図10】



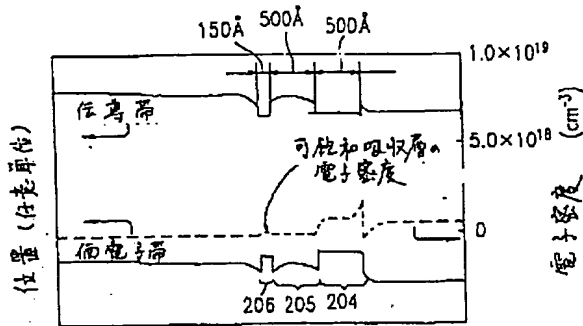
【図11A】



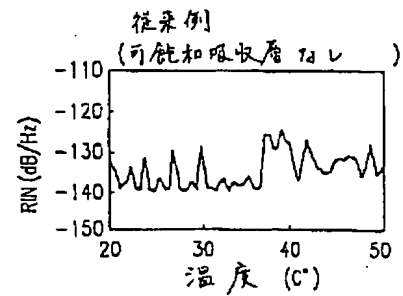
【図12】



【図11B】



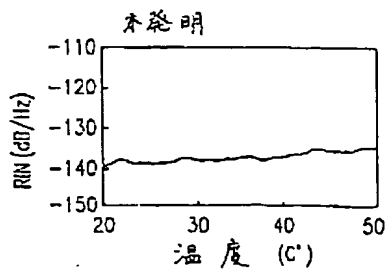
【図14A】



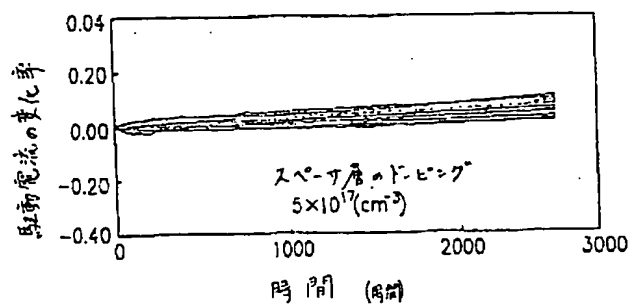
【図13】

スペース層の厚さ (Å)	100	200	300	400	500	600
自励発振	×	○	○	○	○	○

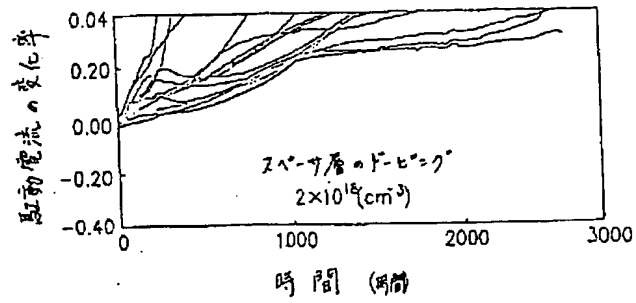
【図14B】



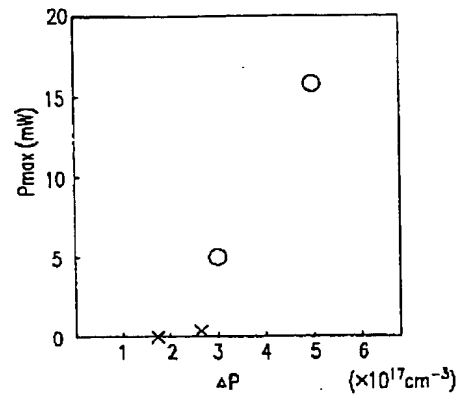
【図15A】



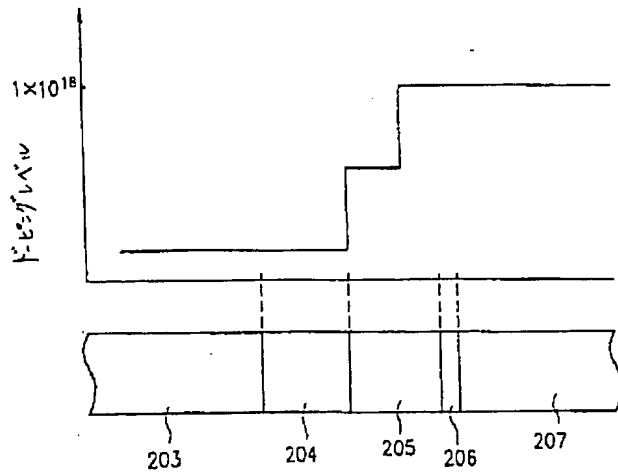
【図15B】



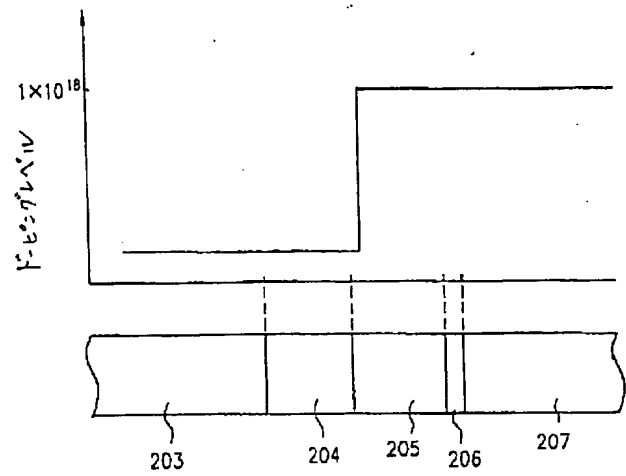
【図16】



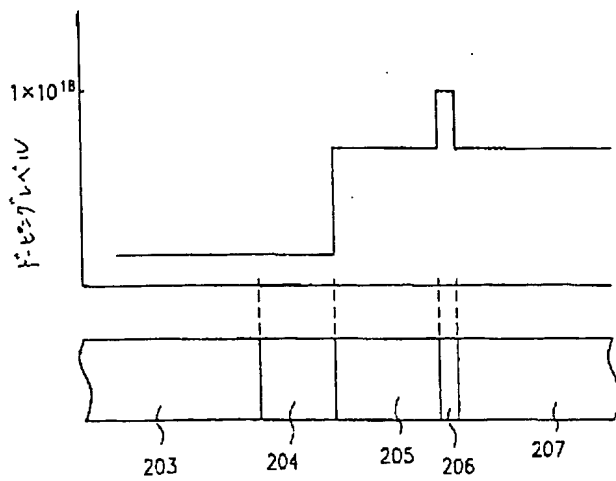
【図17】



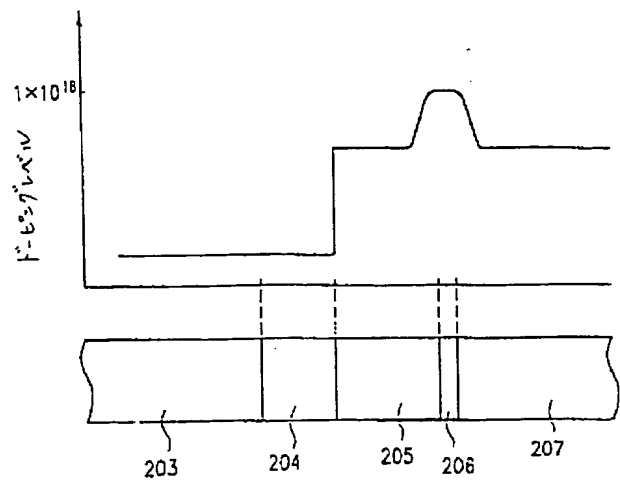
【図18】



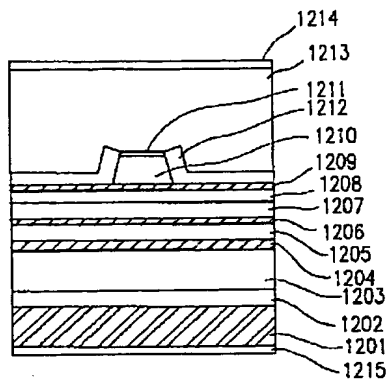
【図19】



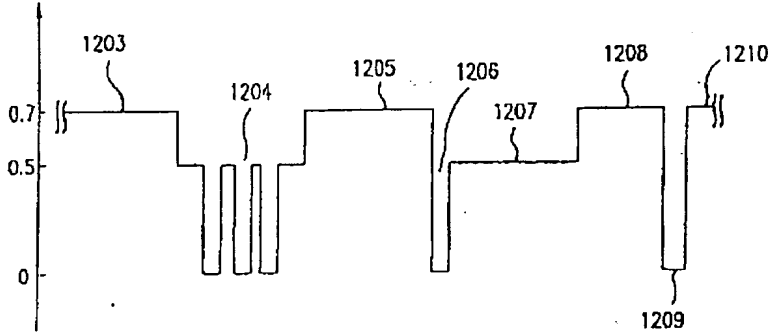
【図20】



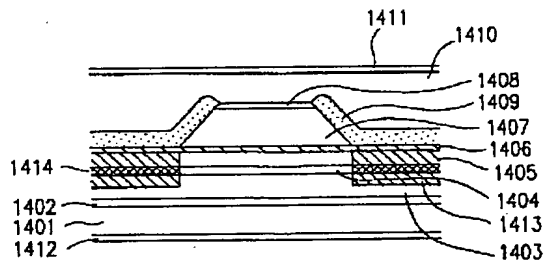
【図 21】



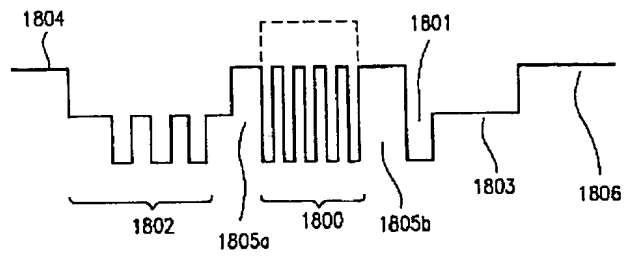
$(\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  Al組成X



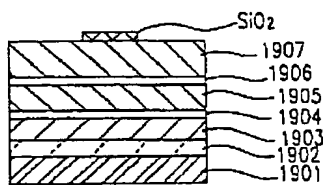
【図 23】



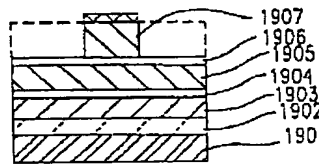
【図 24】



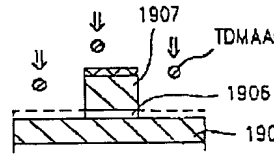
【図 25 A】



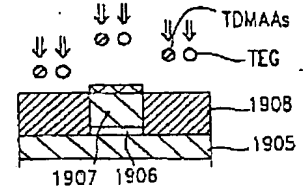
【図 25 B】



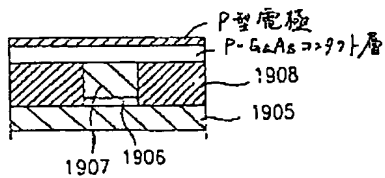
【図 25 C】



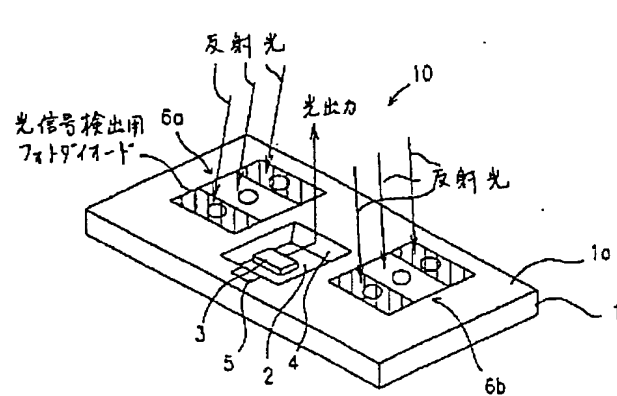
【図 25 D】



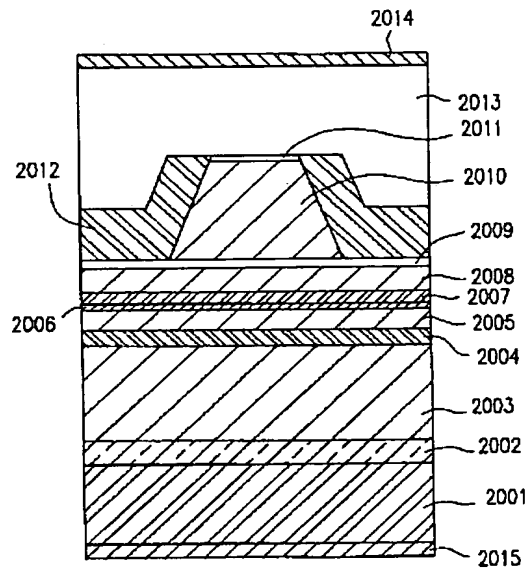
【図 25 E】



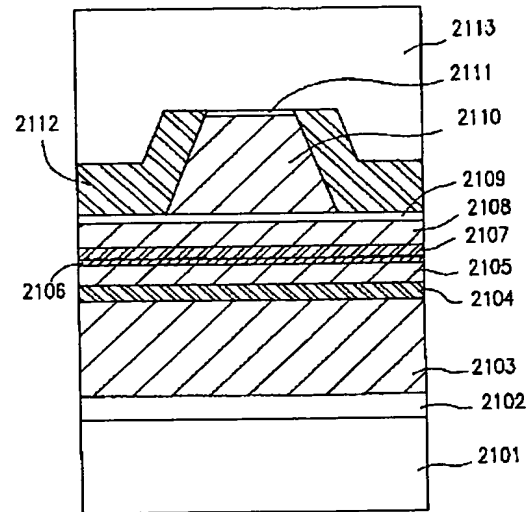
【図 29】



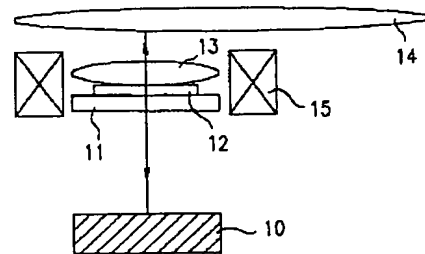
【図 26】



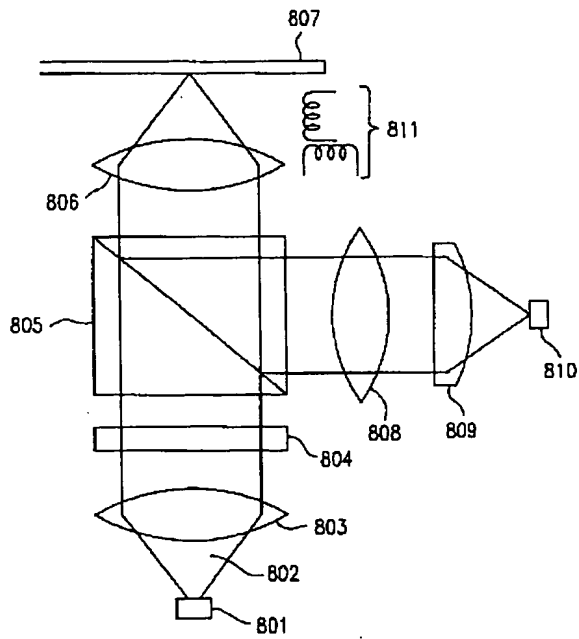
【図 27】



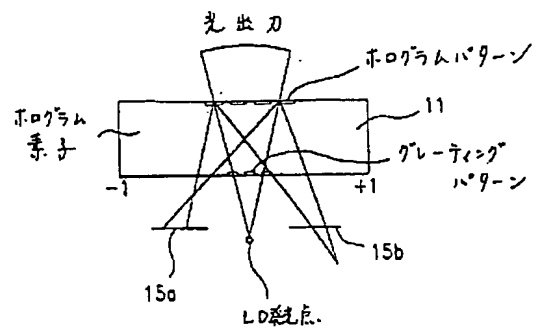
【図 30】



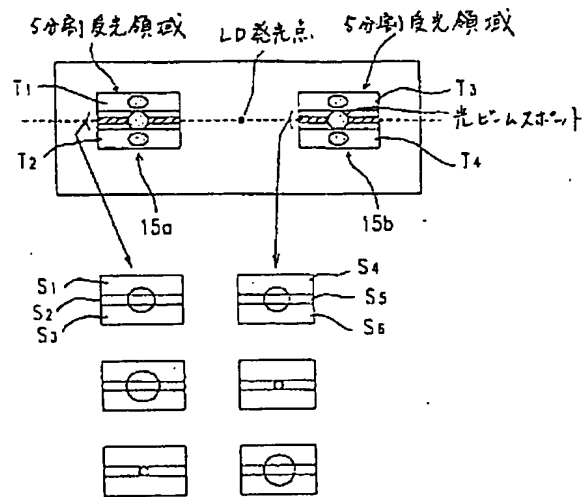
【図 28】



【図 31】



【図 32】



フロントページの続き

(72)発明者 上山 智  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内  
(72)発明者 上野山 雄  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72)発明者 萬濃 正也  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内  
(72)発明者 福久 敏哉  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内